

Г. Т. СИБОРГ и Э. Г. ВЭЛЕНС

ЭЛЕМЕНТЫ ВСЕЛЕННОЙ

O
Si
Al
Fe
Ca
Na
K
Mg

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Периоды	Ряды	Группы				
		I	II	III	IV	V
I	1	¹ H Водород 1,0080				
II	2	³ Li Литий 6,939	⁴ Be Бериллий 9,012	⁵ B Бор 10,81	⁶ C Углерод 12,011	⁷ N Азот 14,007
III	3	¹¹ Na Натрий 22,991	¹² Mg Магний 24,312	¹³ Al Алюминий 26,981	¹⁴ Si Кремний 28,086	¹⁵ P Фосфор 30,974
IV	4	¹⁹ K Калий 39,102	²⁰ Ca Кальций 40,08	²¹ Sc Скандий 44,956	²² Ti Титан 47,90	²³ V Ванадий 50,942
	5	²⁹ Cu Медь 63,54	³⁰ Zn Цинк 65,37	³¹ Ga Галлий 69,72	³² Ge Германий 72,59	³³ As Мышьяк 74,922
V	6	³⁷ Rb Рубидий 85,47	³⁸ Sr Стронций 87,62	³⁹ Y Иттрий 88,905	⁴⁰ Zr Цирконий 91,22	⁴¹ Nb Ниобий 92,906
	7	⁴⁷ Ag Серебро 107,870	⁴⁸ Cd Кадмий 112,40	⁴⁹ In Индий 114,82	⁵⁰ Sn Олово 118,69	⁵¹ Sb Сурьма 121,75
VI	8	⁵⁵ Cs Цезий 132,905	⁵⁶ Ba Барий 137,34	⁵⁷ La(58—71) Лантан 138,91	⁷² Hf Гафний 178,49	⁷³ Ta Тантал 180,948
	9	⁷⁹ Au Золото 196,967	⁸⁰ Hg Ртуть 200,59	⁸¹ Tl Таллий 204,37	⁸² Pb Свинец 207,19	⁸³ Bi Висмут 208,98
VII	10	⁸⁷ Fr Франций 223	⁸⁸ Ra Радий 226,05	⁸⁹ Ac(90—103) Актиний 227	(104)	
Лантаниды		⁵⁸ Ce Церий 140,12	⁵⁹ Pr Празеодим 140,907	⁶⁰ Nd Неодим 144,24	⁶¹ Pm Прометий 145	
		⁶⁵ Tb Тербий 158,924	⁶⁶ Dy Диспрозий 162,50	⁶⁷ Ho Гольмий 164,930	⁶⁸ Er Эрбий 167,26	
Актиниды		⁹⁰ Th Торий 232,038	⁹¹ Pa Протактиний 232	⁹² U Уран 238,03	⁹³ Np Нептуний 237	
		⁹⁷ Bk Берклий 249	⁹⁸ Cf Калифорний 249	⁹⁹ Es Эйнштейний 254	¹⁰⁰ Fm Фермий 253	

ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

ЭЛЕМЕНТОВ					
VI	VII	VIII			0
					² He Гелий 4,003
⁸ O Кислород 15,999	⁹ F Фтор 18,998				¹⁰ Ne Неон 20,183
¹⁶ S Сера 32,064	¹⁷ Cl Хлор 35,453				¹⁸ Ar Аргон 39,948
²⁴ Cr Хром 51,996	²⁵ Mn Марганец 54,938	²⁶ Fe Железо 55,847	²⁷ Co Кобальт 55,933	²⁸ Ni Никель 58,71	
³⁴ Se Селен 78,96	³⁵ Br Бром 79,916				³⁶ Kr Криптон 83,80
⁴² Mo Молибден 95,94	⁴³ Tc Технеций 98	⁴⁴ Ru Рутений 101,07	⁴⁵ Rh Родий 102,905	⁴⁶ Pd Палладий 106,4	
⁵² Te Теллур 127,60	⁵³ I Иод 126,904				⁵⁴ Xe Ксенон 131,3
⁷⁴ W Вольфрам 183,85	⁷⁵ Re Рений 186,2	⁷⁶ Os Осмий 190,2	⁷⁷ Ir Иридий 192,2	⁷⁸ Pt Платина 195,09	
⁸⁴ Po Полоний 210,0	⁸⁵ At Астатин 210				⁸⁶ Rn Радон 222

⁶² Sm Самарий 150,35	⁶³ Eu Европий 151,96	⁶⁴ Gd Гадолиний 157,25
⁶⁸ Tu Тулий 168,934	⁷⁰ Yb Иттербий 173,04	⁷¹ Lu Лютеций 174,97

⁹⁴ Pu Плутоний 242	⁹⁵ Am Америций 243	⁹⁶ Cm Кюрий 247
¹⁰¹ Md Менделевий 256	¹⁰² No Нобелий 254	103 (Лоуренсий?)

Г. Т. СИБОРГ и Э. Г. ВЭЛЕНС

ЭЛЕМЕНТЫ ВСЕЛЕННОЙ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ИСПРАВЛЕННОЕ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
И. М. БЕККЕРМАНА и С. С. РОДИНА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА
А. П. ВИНОГРАДОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1966

ELEMENTS OF THE UNIVERSE

BY

G. T. SEABORG and E. G. VALENS

NEW YORK, E. P. DUTTON & COMPANY, INC.

1958

Г. Т. Сибори и Э. Г. Вэленис

Элементы Вселенной

М., 1966 г., 264 стр. с илл.

Редактор Л. Ф. Верес

Техн. редактор К. Ф. Брудно

Корректор А. С. Бакулова

Сдано в набор 26/XI 1965 г. Подписано к печати 19/III 1966 г. Бумага 60×90¹/₁₆.

Физ. печ. л. 16,5. Условн. печ. л. 16,5. Уч.-изд. л. 11,53.

Тираж 40 000 экз. Цена книги 70 коп. Заказ № 3214.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы.

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Главполиграфпрома

Комитета по печати при Совете Министров СССР.

Москва, Ж-54, Валовая, 28.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Те, кто знаком с этой живой и увлекательной книгой, могли сполна оценить ее свежесть и занимательность. Книга не утратила своей актуальности, хотя с момента написания прошло восемь лет. Неоспоримые ее достоинства дают все основания надеяться, что второе издание русского перевода будет встречено читателями не менее благожелательно, чем первое.

В процессе подготовки этого издания был сверен текст перевода и внесены исправления. Для второго издания И. М. Беккерманом написано заново дополнение, посвященное открытиям 103-го и 104-го элементов периодической системы.

ОТ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Мечта алхимиков о превращении элементов осуществилась в наше время. Ученые искусственно получили 11 новых химических элементов, до того не найденных в природе. И как удивительно много нужно было преодолеть науке, прежде чем это стало возможным! Как жалка и непохожа лаборатория алхимика с ее колбами и ретортами на современные грандиозные лаборатории с их сложными приборами и установками, которыми пользуются физики и химики. Это скорее напоминает цеха каких-то таинственных заводов. Но именно благодаря им — сооруженным человеком атомным реакторам, огромным ускорителям элементарных частиц — циклотронам, «горячим» лабораториям и т. д., и т. д. стало возможным превращать одни элементы в другие, был открыт новый сказочный мир — мир ядерных превращений. Об этом мире чудесных превращений написали замечательную книгу «Элементы вселенной» Г. Сиборг и Э. Вэлленс.

Они посвятили эту книгу своим детям. Г. Сиборг — известный ученый, на долю которого выпало большое человеческое счастье участвовать в открытии 10 новых химических элементов. Заметим, что ничего подобного в

науке в прошлом не случалось. Вот почему авторы с первых страниц с удивительной простотой и увлекательностью вводят читателя, если так можно сказать, в самую гущу мира атомов. Они вначале очень популярно и кратко останавливаются на истории открытия отдельных химических элементов и подводят читателя к гениальному открытию Д. И. Менделеева — «периодическому закону химических элементов», и дальше, следуя этому закону, рассказывают, что произошло в наш атомный век. Наиболее интересны и увлекательны страницы книги, где авторы, участники открытия новых элементов, рассказывают о том, как им удалось впервые получить химические элементы тяжелее урана — так называемые трансурановые элементы — нептуний, плутоний, америций и другие, до 103-го элемента, на котором закончилась серия актинидных элементов (аналогичная серии известных в природе редких земель). Дальше предстоит возможность открыть еще новые элементы, но уже с несколько отличными от актинидов свойствами. Прочтя эти страницы, читатель поймет сложнейшую технику синтеза новых элементов и те тончайшие способы регистрации отдельных атомов, которые были остроумно использованы и которые обеспечили успех.

Очень хорошо, что в книге, посвященной открытию новых элементов, достаточно подробно показываются современные физические аппараты, машины, без которых было бы невозможно получить эти элементы. Ряд глав в книге написан по просьбе авторов другими видными учеными, непосредственно участвовавшими в тех или иных исследованиях или открытиях, о которых идет речь в книге. В конце книги дан краткий обзор строе-

ния Вселенной. Книга прекрасно иллюстрирована, что очень облегчает ее чтение. Она посвящена детям, и они прочтут ее, несомненно, с большим увлечением. Однако я не сомневаюсь, что и взрослые получают хорошую книгу, где в популярной, но строгой по изложению форме они найдут для себя массу интересного и полезного из области атомных открытий последних лет.

1962 г.

А. П. Виноградов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Все, конечно, знают, какую важную роль играет наука как в обороне, так и в повседневной мирной жизни.

Вся наша экономика развивается в зависимости от непрерывного технического прогресса. Достаточно привести лишь такой характерный пример: восемьдесят тысяч служащих компании «Дженерал Электрик» в настоящее время участвуют в выпуске продукции, даже не существовавшей до окончания второй мировой войны.

Хорошо известно важное значение такой науки, как медицина, ведущей нас по пути искоренения болезней и продления жизни человека.

Но, несмотря на все успехи науки, Соединенные Штаты испытывают серьезную нехватку в ученых и инженерах. Заинтересовать наукой как можно большее число молодых людей — вот наиболее актуальная проблема, которая стоит перед нами.

Ответственность за решение этой проблемы в основном ложится на плечи самих ученых. Недостаточно убеждать в важности обычного обучения. Нужно дать ясную картину того, чем действительно занимаются ученые, и попытаться рассказать об этом

увлекательно, возбудив большой интерес молодежи; надо показать то внутреннее удовлетворение, которое обычно получает ученый от своей работы. Это положение явилось основным мотивом для написания книги.

Лично нам кажется, что народ в целом должен больше узнавать о науке. Мы считаем, что научные сведения необходимы каждому культурному человеку. Во всех областях жизни страны нам нужны руководители, которые способны оценить значение цивилизации, а также воздействующие на нее факторы. Общеобразовательное обучение, готовящее людей к такому руководству, должно включать науку как необходимый составной элемент, занимающий центральное место в современной культуре.

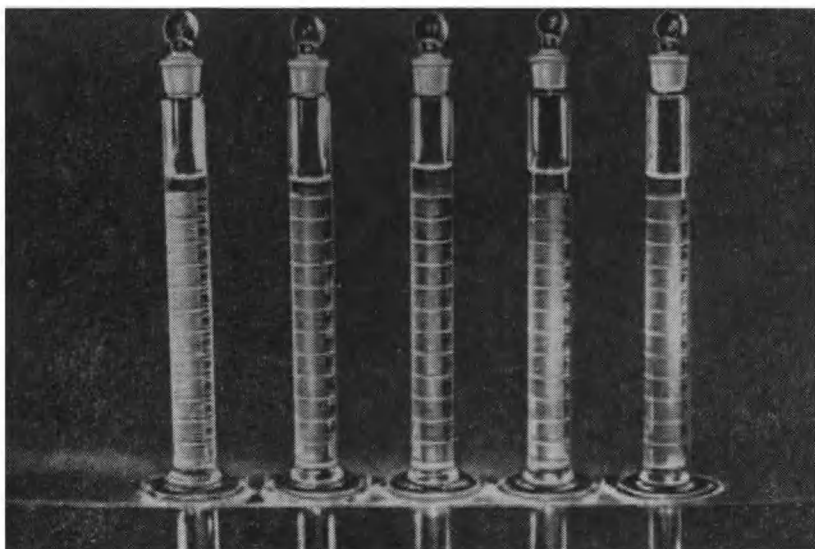
Естественно, ни одна из книг не может широко и объективно охватить все проблемы с целью возбудить интерес читателя и в то же время логически изложить основы науки. Мы выбрали один участок широкого спектра науки — химические элементы — и надеемся, что сумели дать первое представление об этих важнейших «кирпичах» природы.

Беркли, 1958 г.

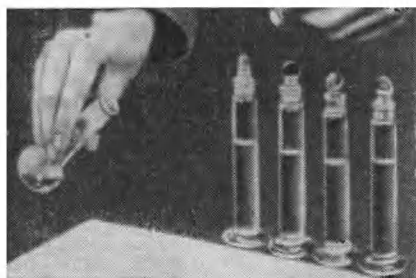
*Г. Т. Сиборг,
Э. Г. Вэлес*

АТОМ

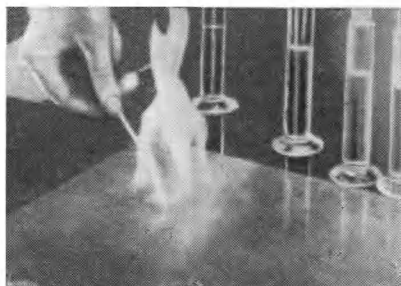
Здесь в мерных цилиндрах находится пять бесцветных жидкостей, которые кажутся одинаковыми. Можно подумать, что в них налита вода. Но выпить какую-



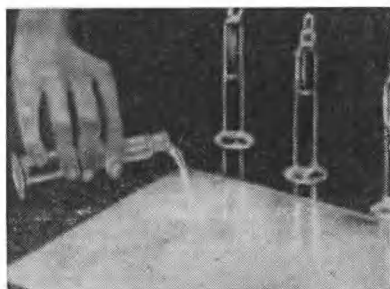
нибудь из них так же опасно, как стрелять в человека из винтовки, заряженной пятью патронами, из которых только один холостой. Если мы первую жидкость выльем на медную пластинку и зажжем спичку над ней, то...



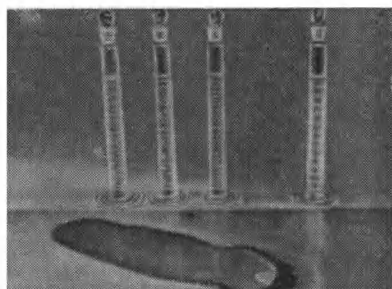
...ничего не произойдет;



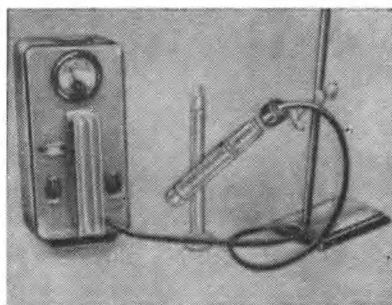
вторая жидкость
воспламенится;



третья — погасит
пламя;



четвертая — разъест
медную пластинку;



пятую мы не осмелимся пролить, так как она имеет
высокую радиоактивность.

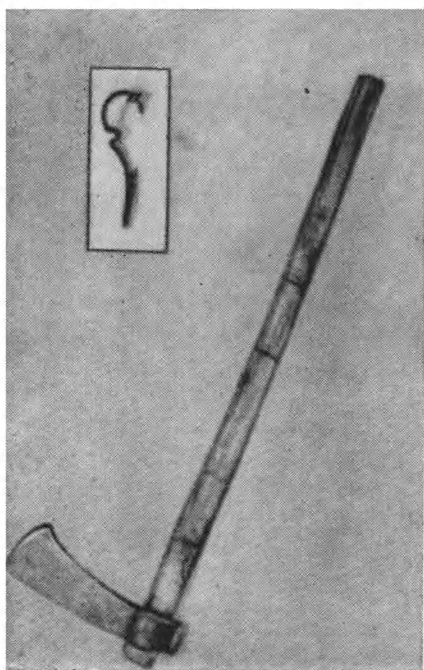
Почему все пять жидкостей, внешне столь похожих, действуют, однако, совсем по-разному? Мы сможем ответить на этот вопрос после того, как узнаем, что такое химический элемент. Наши жидкости в действительности представляют собой простые соединения, и ни одно из них не содержит более трех или четырех элементов.



По химическому составу они намного проще дерева и камня, этих первых материалов, которые человек еще в глубокой древности научился обрабатывать для своих нужд.

В Бронзовом веке, наступившем намного позднее периода каменного молотка, человек начал непосредственно использовать элементы для изготовления разных предметов — от военного снаряжения и оружия и до безобидных булавок.

Во время Железного века человек овладевает мастерством извлечения металла из

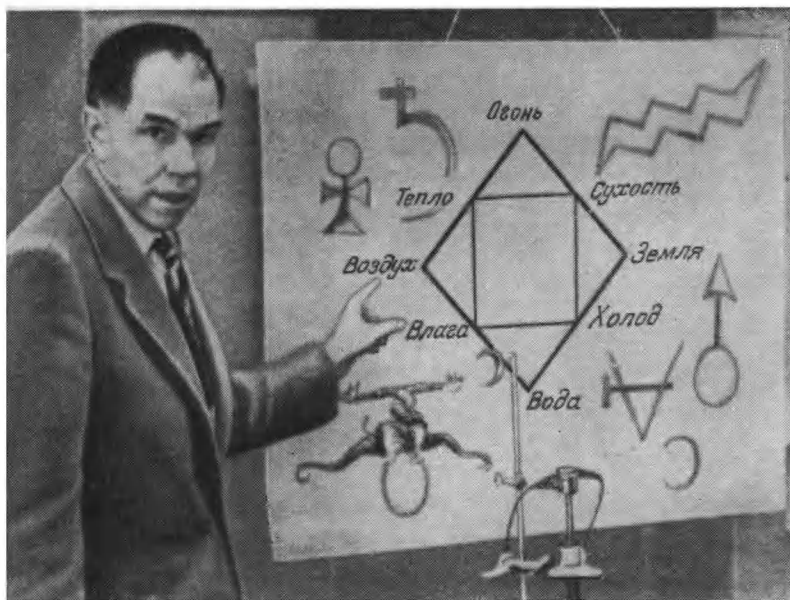


руд и перековывания его в различные полезные формы, например такие, как железный молоток.

В книгах, написанных в древние времена, рассказывается о том, что человек использовал золото, серебро, медь, железо, олово, углерод, свинец, серу и ртуть, однако, конечно, никто не предполагал, что все они являются химическими элементами.

В Средние века алхимики пытались делать разумные выводы из тех отрывочных и примитивных знаний по химии, которыми они располагали.

Несмотря на незрелость и фантастичность многих их представлений, лучшие из алхимиков все же были учеными. Они хотели открыть основные кирпичи, из которых построены вещества, и с этой целью проводили опыты, в которых пытались их обнаружить.



Они считали такими основными элементами Огонь, Землю, Воздух и Воду. До сих пор их первая «система элементов» поражает нас. Она свидетельствует даже о том, что алхимикам были известны химические реакции. Например, дерево образует тепло при сгорании. Следовательно, считали они, сухое дерево состоит из Земли (зола) и Огня.

В настоящее время установлено, что все вещества на Земле и во Вселенной состоят из химических элементов. Мы хорошо знаем, что такое элемент, а наша периодическая система элементов совсем не похожа на систему алхимиков.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-103	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)										

Лантаниды	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
Актиниды	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Md	(102)	(103)

Теперь в этой таблице заключено большинство тайн, на разгадку которых алхимики тщетно тратили свои жизни. В наше время любой человек может получить обширную информацию, как только он научится читать периодическую систему. Она включает теперь свыше ста элементов вместо прежних четырех. Она характеризует вес и строение каждого элемента, и, только

взглянув на нее, можно указать элементы, похожие друг на друга.

С помощью этой таблицы мы также можем описать огонь, землю, воздух и воду. Огонь представляет собой свет и тепло, образующиеся при соединении некоторых элементов с кислородом. Земля — это сложная комбинация многих десятков различных элементов. Воздух является смесью по крайней мере восьми элементов плюс одно соединение — углекислый газ. Вода — соединение, состоящее из двух элементов: кислорода и водорода.

Наша современная система элементов включает все элементы в порядке возрастания их атомных весов. Каждое название химического элемента для удобства обозначается условным символом, как указано в таблицах на форзацах книги.

6	Углерод
C	
12,011	

Например, для первых восьми элементов приняты следующие сокращения: Н (водород), He (гелий), Li (литий), Be (бериллий), B (бор), C (углерод), N (азот) и O (кислород).

Символы некоторых наиболее давно известных элементов получены от их первых названий, которыми больше не пользуются, на-

пример Hg (гидраргирум) для ртути и Ag (аргентум) для серебра. Происхождение всех названий элементов и их символов объяснено в приложении на стр. 254—262.

В периодической системе, в левом верхнем углу каждой клеточки указан атомный номер элемента.

Так, для углерода он равен шести; это говорит о том, что атом углерода имеет 6 протонов в своем ядре, а следовательно, и 6 электронов. Зная состав атома, мы тем самым знаем, как углерод будет соединяться с другими элементами.

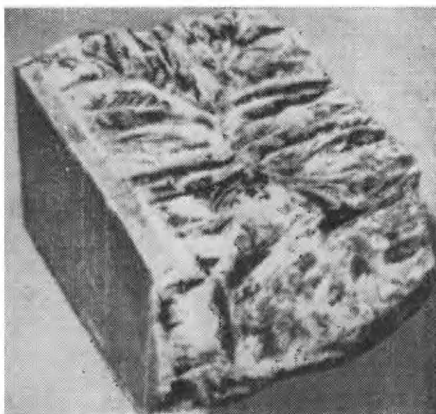
Число, находящееся внизу и для углерода немного большее 12, является атомным весом элемента. Для кислорода это число было принято равным 16. Таким образом, атом кислорода почти в шестнадцать раз тяжелее атома водорода.

Два этих числа характеризуют строение ядра элемента. Число протонов равно атомному номеру, т. е. для углерода — шести, а число нейтронов равно атомному весу минус атомный номер, т. е. для углерода $12 - 6 = 6$.

Для урана, атомный номер которого 92, а атомный вес 238, число протонов в ядре равно 92, а число нейтронов:
 $238 - 92 = 146$.

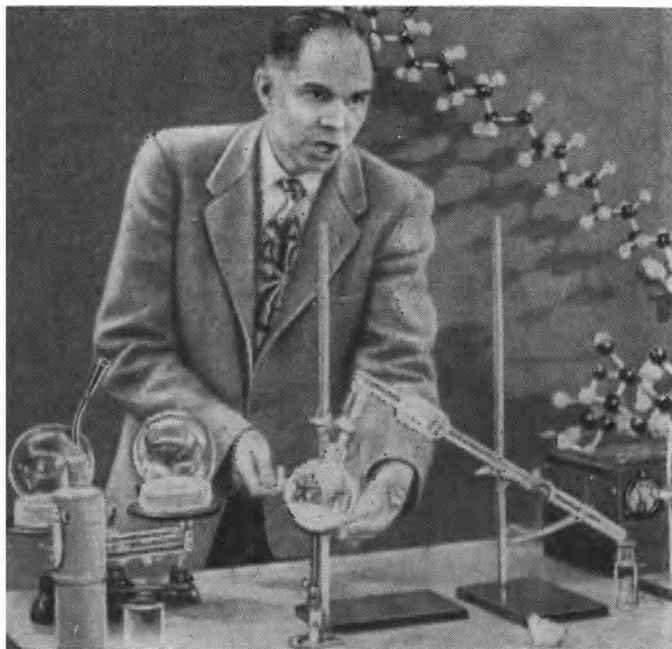
Что такое элемент?

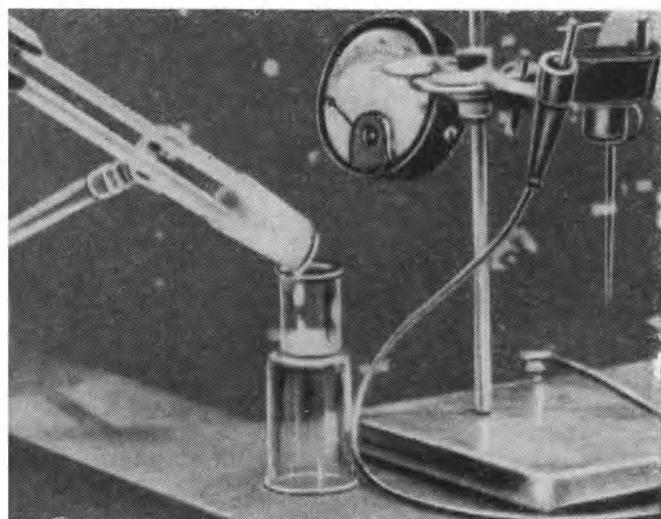
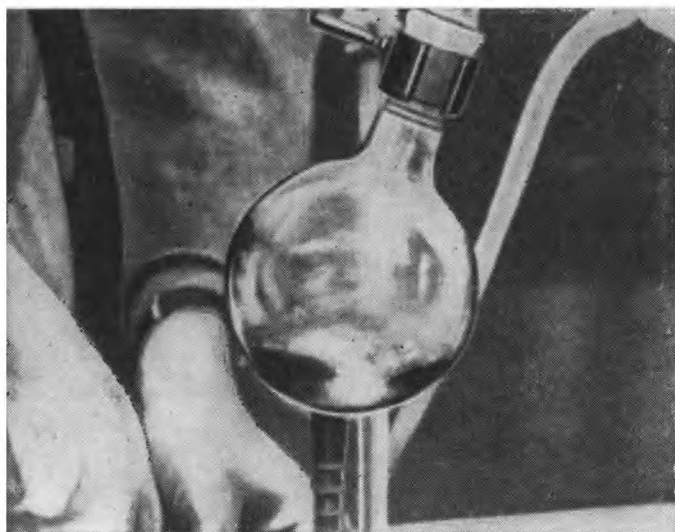
Элемент — это вещество, которое состоит исключительно из атомов одного вида. Этот кусок висмута содержит только атомы висмута, причем все



они химически идентичны. Мы можем этот кусок размельчить кузнечным молотом, а затем размолоть в порошок. Однако каждый кусок, каждая отдельная частичка порошка — это все еще висмут. Мы можем нагревать его до тех пор, пока он не потечет как вода, или пока он не закипит, и каждый атом не вылетит в воздух. Но мы все еще будем иметь те же атомы висмута и ничего более.

Большинство атомов способно соединяться с другими, образуя при этом молекулы. Атом одного элемента может соединяться с другими подобными атомами. Так, два атома кислорода образуют молекулу кислорода. Атом может также соединяться с одним или с несколькими атомами других элементов, образуя молекулы или химические соединения.





Удивительно в химическом процессе то, что при соединении двух различных атомов образуется совершенно иное вещество с новыми свойствами.

Сильно воспламеняющийся газ — водород, соединяясь с кислородом, образует воду. Два ядовитых вещества: газообразный хлор и мягкий серебристо-белый металл натрий, соединяясь, образуют обычную столовую соль.

Другое хорошо известное соединение — сахар удастся без труда разложить на более простые составные части. Для этого нужно положить некоторое количество сахара в реторту и нагреть ее. Вскоре молекулы сахара начнут распадаться. Образующийся чёрный остаток указывает на то, что сахар частично состоит из углерода. Другие атомы, которые были связаны в молекуле сахара, разъединяются, испаряются и конденсируются в виде капелек, которые стекают в стакан. Оказывается, эти капли — обычная вода. Мы можем пойти еще дальше и пропустить электрический ток через полученную воду, поместив ее в аппарат для электролиза. При этом молекула воды разлагается на водород и кислород, которые выделяются в виде отдельных пузырьков.

Сахар, таким образом, состоит из следующих элементов: углерода, водорода и кислорода. Каждая молекула сахара содержит 12 атомов углерода, 22 атома водорода и 11 атомов кислорода.

Значит, химическая формула сахара выглядит так: $C_{12}H_{22}O_{11}$.

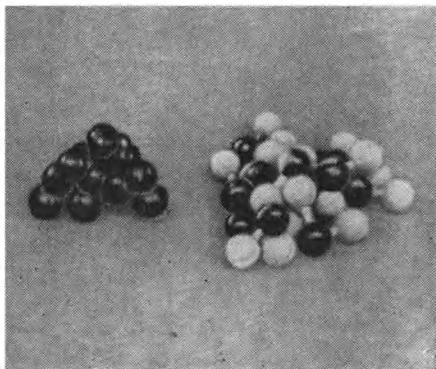
В реторте мы имели дело с миллиардами миллиардов молекул сахара, но интересно выяснить, что же происходит с каждой молекулой в отдельности.



Наглядное представление об этом процессе можно получить с помощью модели.

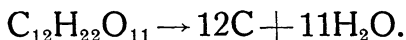
Черные шарики изображают атомы углерода, белые — атомы водорода и серые — атомы кислорода. Палочки показывают химические связи, которые удерживают отдельные атомы вместе.

Это, конечно, не совсем та молекула сахара, которая оказалась бы на самом деле, если бы мы могли увидеть ее, но все же модель хорошо иллюстрирует общее расположение атомов внутри молекулы. При нагревании молекула разлагается. 12 атомов углерода остаются



на дне реторты, а 11 молекул воды переходят в пар.

Этот результат можно выразить таким уравнением:



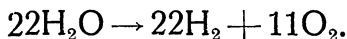
Другими словами, из одной молекулы сахара образуется 12 атомов углерода и 11 молекул воды.

Наконец, когда молекулы воды разлагаются, из них возникают 22 атома водорода и 11 атомов кислорода.

Они соединяются парами, образуя 11 молекул водорода (H_2) и $5\frac{1}{2}$ молекул кислорода (O_2) на каждую

разложенную молекулу сахара.

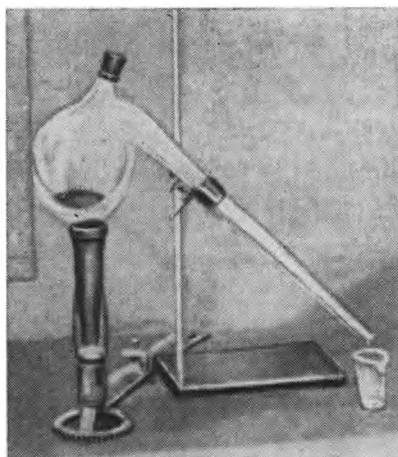
Можно написать эту реакцию при помощи целых чисел, если удвоить число молекул воды, участвующих в реакции:



В другом эксперименте будем нагревать химическое соединение — окись ртути, представляющее

собой порошок красного цвета. Название этого соединения говорит о том, что оно состоит из ртути и кислорода.

Вначале окись ртути изменяет окраску. Затем она закипает и начинает испаряться из колбы. Обра-



зовавшиеся газы, после того как они вырываются через шейку реторты, охлаждаются.

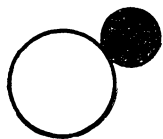
Ртуть образует капли, которые собираются в стакане. Кислород также выделяется из реторты. Мы не можем увидеть газообразный кислород, но зато сможем установить его присутствие, поднеся к реторте тлеющую деревянную лучинку.



В атмосфере почти чистого кислорода лучинка загорается ярким пламенем.

Таким образом, нами установлено, что сухой красный порошок состоит из блестящего жидкого металла и газа, способного поддерживать горение.

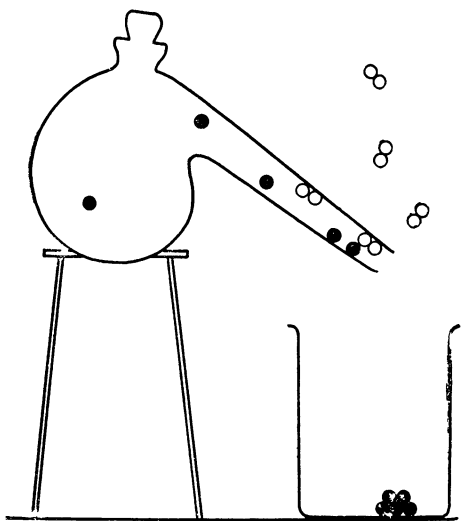
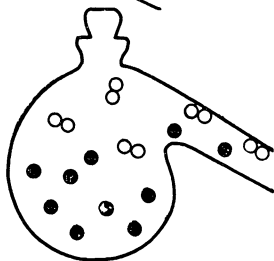
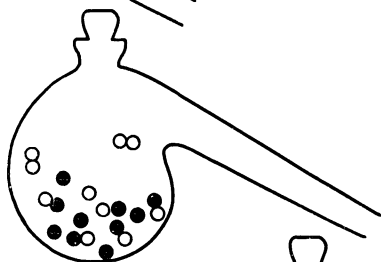
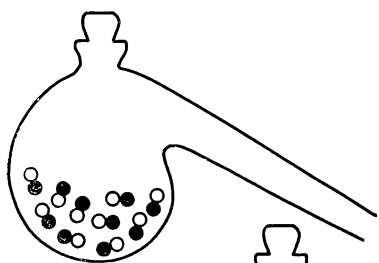
Молекула окиси ртути намного проще молекулы сахара. Она состоит всего лишь из двух атомов — ртути (символ которой — Hg) и кислорода. Это сразу видно из формулы окиси ртути: HgO .



Схематично молекула HgO выглядит следующим образом.

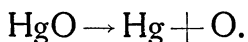
Белый кружок изображает атом кислорода, а меньший, черный, — атом ртути.

В целом процесс, происходящий в данном опыте, показан на следующей странице. При нагревании молекулы окиси ртути разлетаются в стороны, ударяются друг о друга или о стенки реторты. Каждая молекула разрушается, атом кислорода отскакивает от атома ртути.

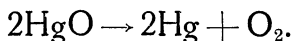


Одиночные атомы ртути проходят через шейку реторты, как обычный газ, и при охлаждении конденсируются в форме капелек. Атомы кислорода соединяются попарно и выделяются в виде газа.

Этот процесс можно совсем просто записать с помощью химических символов:



Однако, так как молекулы кислорода состоят из двух атомов, то свободный кислород, т. е. молекулу кислорода, надо обозначить символом O_2 . Так что мы должны поправить эту запись, заменив одну молекулу окиси ртути на две:



Это означает, что две молекулы HgO образуют два атома ртути и одну молекулу кислорода, которая, естественно, содержит два атома кислорода. Таким образом, окись ртути, как и сахар, является скоплением одинаковых молекул, каждая из которых построена из атомов более чем одного сорта.

Пять чистых жидкостей, которые мы испытывали ранее, также были простыми соединениями (точнее, последняя из них была раствором двух соединений). Кстати, все пять жидкостей состояли только из газообразных или из газообразных и твердых элементов. Эти жидкости:

Вода (водород и кислород).

Ацетон (водород, кислород и углерод) — та жидкость, которая воспламенялась.

Четыреххлористый углерод (углерод и хлор) — та жидкость, которая гасила пламя.

Азотная кислота (водород, кислород, азот) — та, которая химически реагировала с медной пластинкой.

Раствор кобальта-60 (вода плюс нитрат — азот и кислород — радиоактивного кобальта) — та, которая заставляла счетчик Гейгера трещать, как пулемет.

Для получения пяти различных жидкостей было использовано всего шесть элементов. Но даже если взять всего два элемента — водород и углерод, то из них можно получить тысячи различных соединений, в частности парафин, керосин, пластмассы.

Свойства таких *углеводородов* зависят только от относительного числа атомов углерода и водорода в каждой молекуле, а также от способа, по которому атомы соединяются вместе.

Химические формулы для различных углеводородов сразу показывают нам числа атомов углерода и водорода в каждой молекуле. Например, CH_4 — это метан. А вот и некоторые другие соединения:

C_2H_2 — ацетилен,

C_2H_4 — этилен,

C_8H_{18} — октан,

$\text{C}_{10}\text{H}_{18}$ — декагидронафталин.

Конечно, нужно взять много квадриллионов молекул, чтобы получить видимые или весомые количества углеводорода или какого-либо другого соединения. Ведь размер атома углерода порядка одной пятидесятиmillionной сантиметра.

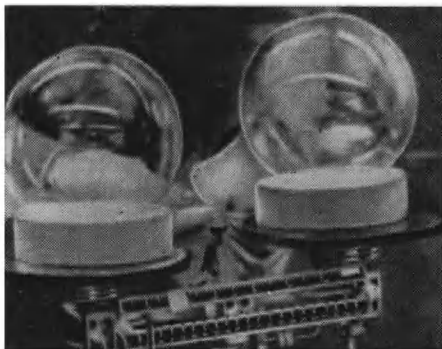
Что же касается атомного ядра, то оно еще меньше атома: диаметр атома превосходит диаметр его ядра примерно в десять тысяч раз.

Если мы представим себе атом углерода увеличенным до размеров футбольного поля, то электроны

будут похожи на мух, летающих над стадионом, а ядро — на футбольный мяч, причем этот мяч будет в тысячи раз тяжелее всех мух (т. е. электронов) вместе взятых.

Это означает, что более 99,9% всего вещества Вселенной сконцентрировано в очень маленьких ядрах атомов. И таким образом, атом является в основном пустым пространством.

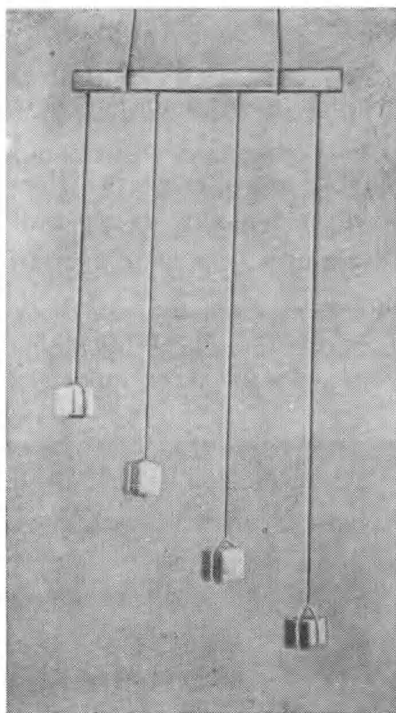
О весе атома можно получить представление, основываясь на том, что равные объемы всех простых газов и паров содержат одинаковое число молекул. Если мы на каждую чашку весов положим колбы горловинами вниз, мы уравновесим один литр воздуха другим. Если теперь одну из колб наполнить водородом, вытеснив из нее воздух, то разница в весах этих колб покажет, насколько литр воздуха тяжелее литра водорода.



Можно пересчитать это на одну молекулу — путем очень длинного деления. Ведь известно, что в каждой колбе имеется одинаковое число молекул — примерно

26 870 000 000 000 000 000 000.

Число атомов будет вдвое больше, ибо свободные азот и кислород (основные компоненты воздуха), как и водород, имеют по два атома в молекуле.



Равные объемы некоторых металлов также весят по-разному, в зависимости от весов их атомов. Например, одинаковые кубики магния, железа, свинца и урана, подвешенные на одинаковых резинках, растянут их на разную длину.

Это, однако, дает только приблизительное представление об относительных весах атомов. Получить же их точные веса несравненно труднее: надо знать, насколько тесно атомы твердых элементов упакованы в различных

материалах. Действительные атомные веса, взятые относительно веса атома кислорода, принятого равным 16, указаны в периодической системе. Они приблизительно равны: 238 — для урана, 207 — для свинца, 56 — для железа и 24 — для магния.

Следовательно, атом урана весит приблизительно столько, сколько весят 238 атомов водорода или 15 атомов кислорода.

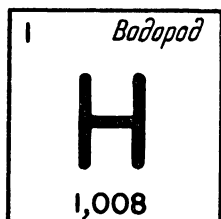
Таково одно из многих сведений, содержащихся в периодической таблице. Периодическая таблица указывает также основные данные, которые необходимы для выяснения того, как атомы соединяются между собой.

Начнем с первого элемента — водорода, потому что его ядро представляет собой всего-навсего один протон. А протоны, как нам уже известно, являются основными частицами, из которых состоят ядра всех других элементов.

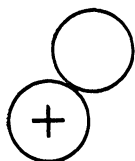
Каждый материальный объект во Вселенной состоит из атомов одного или более элементов. Общее число элементов не-много больше ста, так что мы будем правы, если назовем атомы элементов строительными кирпичами материи.



Но все элементы построены из одних и тех же основных (фундаментальных) частиц — протонов, нейтронов и электронов. Что же делает один элемент отличным от другого? Не что иное, как число протонов, нейтронов и электронов, входящих в его состав.

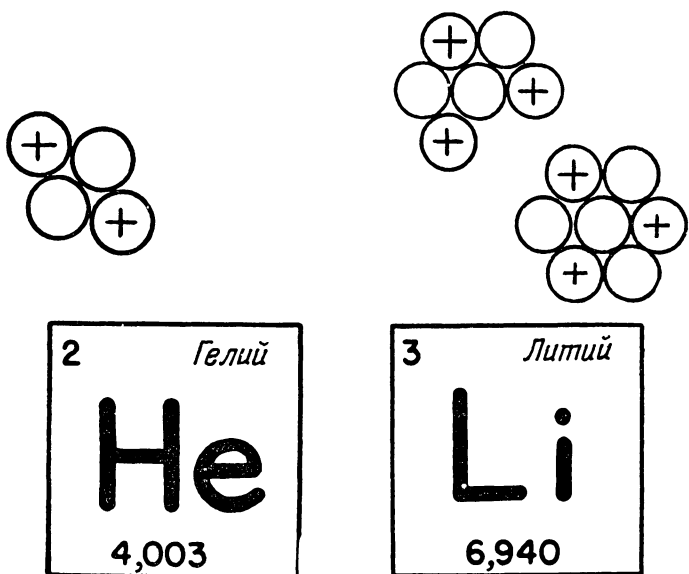


Протон — это частица с единичным зарядом положительного электричества. Он в то же время является ядром атома водорода и составляет более 99,9% его атомного веса.



Итак, ядро водорода — протон имеет заряд 1, как можно видеть из периодической таблицы, в которой указано, что атомный номер водорода равен 1. Мы можем изобразить его в виде кружочка со знаком +. Если мы добавим к протону вторую частицу такого же веса, но без электрического заряда, то такая система будет иметь вес, равный двум. Но ее заряд остается рав-

ным 1, так как в ней имеется только один протон. Нейтральная частица — нейтрон имеется в ядре каждого элемента, за исключением обычного водорода. Если теперь добавить сюда второй протон и второй нейтрон, то получится сложная частица с зарядом 2 и весом 4.



Из периодической таблицы нетрудно установить, что эта частица представляет собой ядро атома гелия, у которого атомный номер равен 2, а массовое число — 4. Массовое число — это общее число протонов и нейтронов, т. е. это атомный вес элемента, округленный до целого числа.

Если мы добавим к ядру гелия третий протон и третий нейтрон, то получим ядро лития, называемое литием-6. Это ядро имеет положительный заряд 3 и массовое число 6.

Наиболее распространенной формой этого серебристо-белого металла является литий-7, в состав которого входит еще один нейтрон.

92% природного лития состоит из лития-7, имеющего атомный вес 7,02 и массовое число 7. Средний же атомный вес природного лития (содержащего литий-6 и литий-7) равен 6,940.

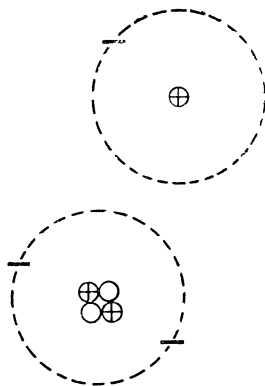
Прибавляя протоны и нейтроны к этому ядру, мы будем получать ядра все более тяжелых элементов.

Но атом не станет атомом до тех пор, пока ядро не будет окружено соответствующим числом электронов — по одному электрону на каждый протон.

Электрон — это единичный заряд отрицательного электричества, и он точно уравнивает положительный заряд протона.

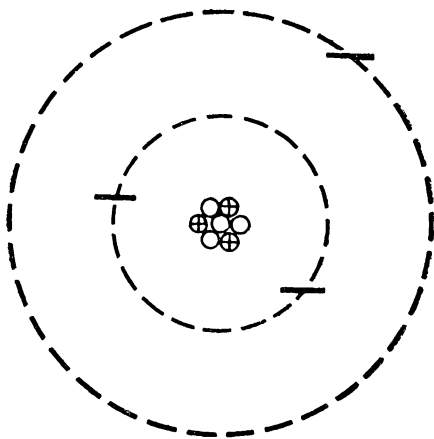
Таким образом, атом водорода состоит из одного протона и единственного электрона, вращающегося вокруг него. Электрон представлен здесь в виде значка —. Этот рисунок не слишком точен, так как если бы протон был действительно таким большим, каким мы здесь его нарисовали, то электрон вращался бы по кругу диаметром почти в километр.

Для атома гелия потребуются два электрона, чтобы уравновесить положительный заряд 2, обусловленный его двумя протонами. Для атома характерно то, что только строго определенное число электронов



может находиться на каждой данной орбите, или оболочке.

Орбита, ближайшая к ядру, может иметь только два электрона. В этом случае считается, что первая оболочка заполнена, и далее начнет заполняться следующая орбита, на которой может находиться 8 электронов. Так, в атоме лития, как и в атоме гелия имеются



два электрона на первой оболочке и, кроме того, третий электрон, одиноко вращающийся на внешней орбите.

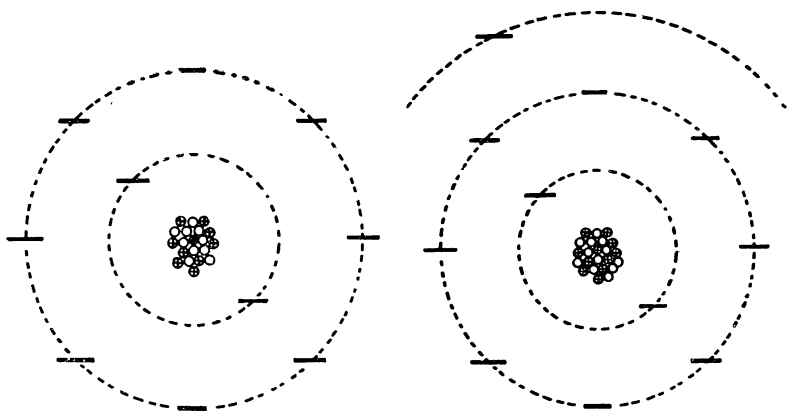
В действительности орбиты трехмерны, а электроны движутся по поверхности воображаемой сферы. Причем их реальные пути намного сложнее, чем можно представить себе из нашего упрощенного описания.

Рассмотрев следующие семь элементов, мы обнаружим, что у них постепенно заполняется вторая оболочка. Последний из них, неон, имеет 10 протонов в ядре и 10 электронов на двух оболочках.

В атоме неона вторая оболочка с ее восемью свободными местами заполнена до предела. Внутренняя, двух-электронная оболочка, конечно, тоже заполнена. Таким

образом, неон, подобно гелию, является также «укомплектованным» атомом — в нем нет свободных мест или внешних, избыточных электронов.

После неона идет натрий, имеющий 11 протонов и 11 электронов. Одиннадцатый электрон одиноко вращается на третьей оболочке.



Натрий, который в периодической таблице помещен непосредственно под литием и водородом, имеет, так же как и они, единственный электрон на своей внешней орбите.

Теперь мы начинаем понимать, почему мы говорим — *периодическая* таблица элементов. Мы установили, что определенные свойства атомов периодически повторяются, если располагать элементы по порядку возрастания их атомных номеров.

Важно, что каждый раз, когда к ядру прибавляется один протон, атом также должен получить и один дополнительный электрон. Этот электрон, обычно помещаемый на внешнюю орбиту, необходим для того, чтобы сохранить электрическую нейтральность атома в целом.

Следовательно, от числа протонов в ядре зависит количество электронов, вращающихся вокруг ядра. В нейтральном атоме должно находиться всегда одинаковое число протонов и электронов.

Число этих электронов и характер их размещения на возможных орбитах — это и определяет *химические свойства* любого данного элемента.

Химические свойства просто означают, как элемент должен соединяться (или отказываться соединяться) с другими элементами. Они указывают также на то, насколько легко элемент должен соединяться и насколько устойчиво будет это соединение.

Химические свойства зависят от числа и расположения электронов в атоме и никак не связаны с протонами и нейтронами, находящимися в самом ядре.

Число нейтронов в атомном ядре, однако, различно для различных изотопов одного и того же элемента.

Слово *изотоп* означает: занимающий то же самое, или равное (*iso*), место (*topos*).

Изотопы элемента занимают одно и то же место в периодической системе и имеют одинаковое число протонов и электронов. Хорошим примером может служить природный литий, который содержит два изотопа: литий-6 и литий-7.

Главное, что отличает изотопы, — это их разные атомные веса, а нередко и радиоактивность.

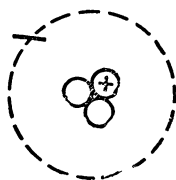
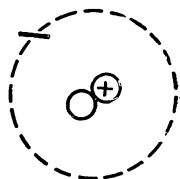
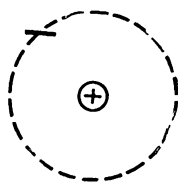
Если мы возьмем атом водорода (протон с вращающимся вокруг него электроном) и добавим к его ядру нейтрон, то нам нет нужды прибавлять электрон: нейтрон не имеет заряда и не нуждается в электроны для сохранения электронейтральности атома. А так как мы не из-

менили числа электронов, то не изменили и химических свойств атома.

Единственное, что изменено, так это вес атома. У водорода имеется три изотопа: обычный водород, содержащий только протон в ядре; дейтерий, который имеет еще нейтрон, и поэтому его атомный вес равен 2; наконец, радиоактивный тритий, который имеет вес примерно три атомных единицы и содержит 1 протон и 2 нейтрона в ядре.

Природный уран — это, главным образом, изотоп U-238 с 92 протонами и 146 нейтронами в ядре. Но в природном уране содержится и другой хорошо известный изотоп U-235, способный к делению и служащий поэтому источником атомной энергии. U-235 имеет также 92 протона, но только 143 нейтрона, т. е. его атомный вес на три единицы меньше атомного веса U-238. Наличие изотопов означает, что мы были не совсем точны, когда определяли элемент как вещество, все атомы которого идентичны.

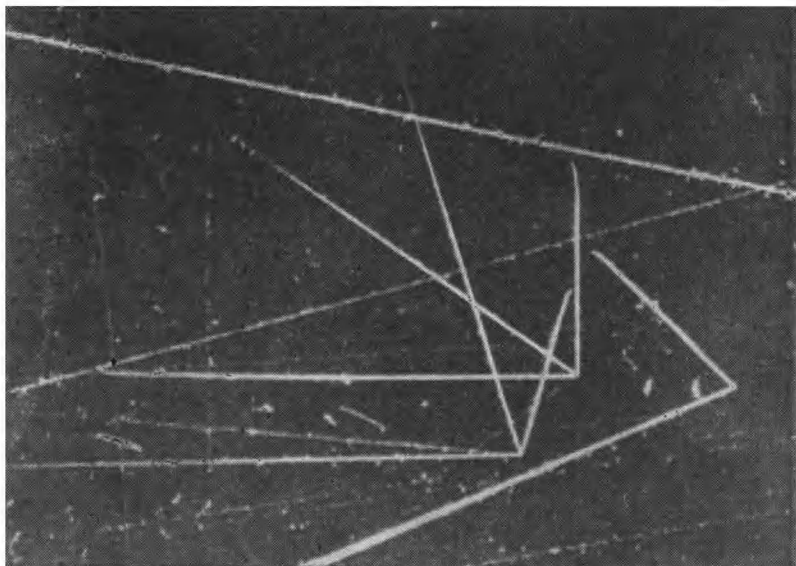
Ядро атома трехмерное, а не плоское, каким мы его изображали. Некоторые ядра имеют почти сферическую форму, подобно футбольному мячу. Зато другие, в частности уран, более похожи на мяч для игры в регби (по форме он напоминает дыню).



Атомы в молекулах

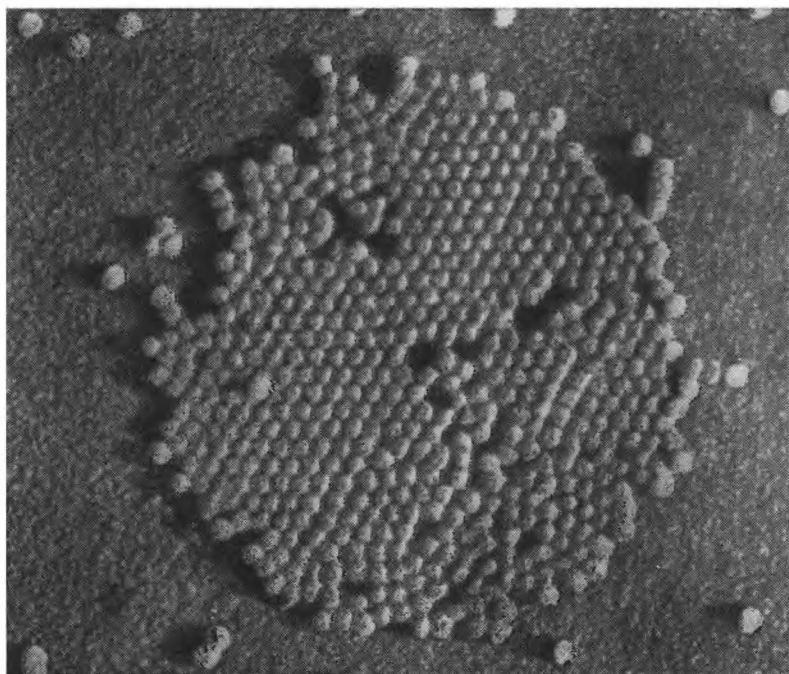
Каким образом мы узнали, что атомы действительно существуют? Мы рассказывали о них с большими подробностями, но ведь они слишком малы, чтобы увидеть их с помощью оптического или даже электронного микроскопа. Тем не менее легко наблюдать некоторые явления, свидетельствующие об их существовании.

Когда заряженная частица, например ядро водорода или гелия, проходит через влажный газ, она остав-

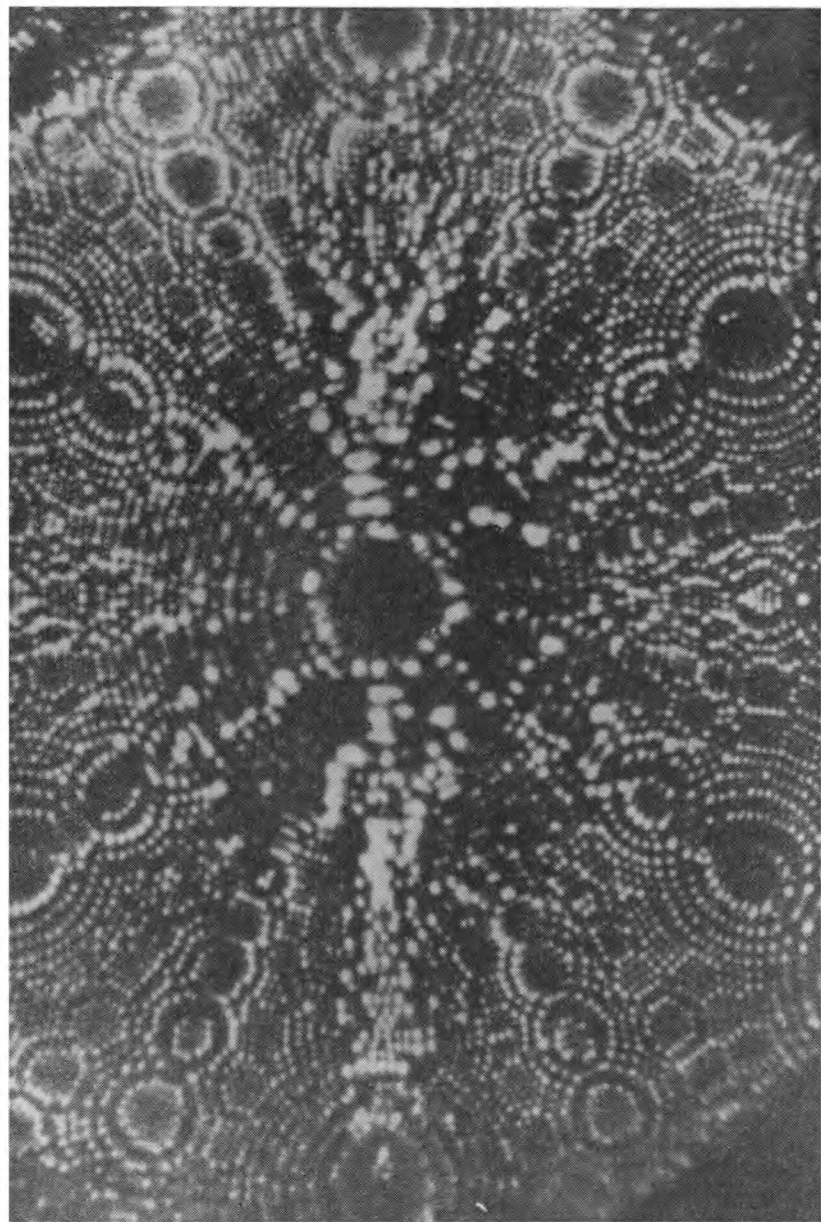


ляет за собой след пара, подобный тому, который оставляет самолет высоко в небе. Этот след мы можем увидеть или сфотографировать даже без микроскопа.

Далее. Хотя до последнего времени не удавалось разглядеть атом, но зато можно увидеть молекулу, которая является химической комбинацией атомов. Изредка встречаются настолько большие молекулы, что их уже можно наблюдать с помощью электронного микроскопа, хотя они слишком малы, чтобы отражать более длинные волны видимого света, и поэтому их не удастся увидеть с помощью простого микроскопа.



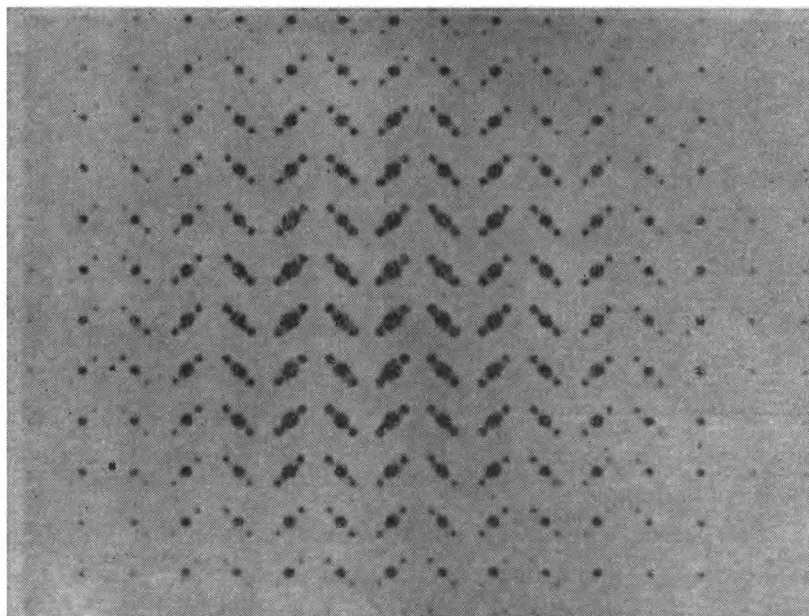
Вирус — это и есть огромная молекула, одна из самых больших известных молекул. Вирус полиомиелита, принесший так много бед, представляет собой сферическую молекулу, содержащую много тысяч атомов. Его можно



увидеть с помощью электронного микроскопа при увеличении в 180 000 раз.

В 1957 г. ученый из Пенсильванского университета Эрвин Мюллер получил первую действительную фотографию отдельных атомов. Слева показаны атомы вольфрама, расположенные в кристаллической решетке на поверхности очень тонкой металлической иглы. Они наблюдались Мюллером в поле ионного микроскопа. Каждая маленькая точка — это отдельный атом, яркие точки — группы из нескольких атомов. Увеличение здесь составляет около 2 000 000.

В Массачузетском технологическом институте доктор Мартин Бюргер при помощи рентгеновских лучей зафиксировал расположение отдельных атомов в кристалле пирита. Пирит — дисульфид железа — является соединением



железа и серы. Каждая ячейка пирита содержит 1 атом железа и 2 атома серы.

Атомы, конечно, чрезвычайно малы. Один атом железа имеет диаметр менее трех стомиллионных долей сантиметра.

На фотографии нельзя детально рассмотреть атом, однако на ней ясно видно положение отдельных атомов в кристалле.

Теперь выясним вопрос, как заставить различные элементы, например железо и серу, соединиться и образовывать молекулы?

Если мы тщательно перемешаем железные опилки с серой, то смесь все еще будет оставаться железными

опилками и серой. Их легко вновь разделить. Для этого нужен только магнит.



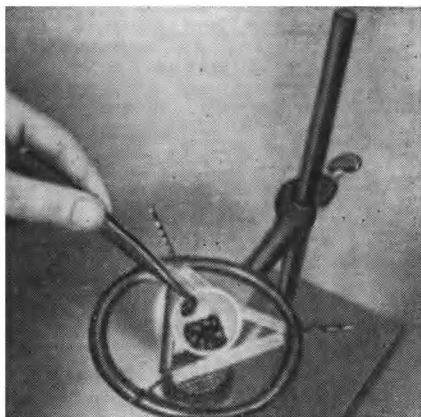
Таким образом, железо и сера при смешивании не образуют химического соединения. Они образуют смесь отдельных атомов железа и серы, просто лежащих рядом.

Однако, если мы поместим смесь в тигель и нагреем ее, то атомы железа и серы образуют химическое соединение.

Нагретые вместе, они теряют свою индивидуальность и становятся соединением, а именно — сульфидом железа, которое отличается по всем

своим свойствам как от железа, так и от серы.

Каждая молекула этого сульфида железа, или FeS , имеет 1 атом железа и 1 атом серы. Это вещество очень похоже на дисульфид железа, формула которого FeS_2 . Совсем легко приготовить со-



единение из магния, потому что для этого требуется только небольшое количество металлического магния и тепло. Необходимый кислород будет поступать из воздуха.

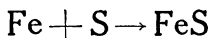


Можно взвесить магний и убедиться, что при горении он увеличивается в весе, а не теряет его. Это происходит потому, что магний соединяется с кислородом воздуха, образуя новое соединение — окись магния MgO .

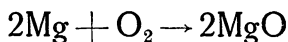
Окись магния, конечно, тяжелее первоначального магния, так как мы должны прибавить к весу атома магния еще вес атома кислорода. Полученная окись магния не похожа ни на магний, ни на кислород.

Процесс соединения железа и серы или магния и кислорода называется *химической реакцией*.

Химические формулы для обеих реакций очень просты:



(железо плюс сера образуют сульфид железа),



(магний плюс кислород образуют окись магния).

До сих пор мы видели, как химик получает соединение из двух элементов, но не выяснили вопрос, *почему* происходит реакция.

Существует очень много способов, которыми атомы могут соединяться в молекулы, но любой из них всегда состоит в перегруппировке атомных электронов на орбитах.

Перегруппировка этих электронов фактически и определяет химические процессы.

Первый горизонтальный ряд периодической системы содержит только два элемента — водород и гелий. Каждый из них имеет одну электронную оболочку.



Второй горизонтальный ряд состоит уже из восьми элементов с двумя электронными оболочками. Можно сказать, что у каждого из элементов имеется «восьмиместная» внешняя оболочка, причем одно или несколько «мест» на ней занято электронами.

Как мы уже видели, первый элемент этого ряда — литий — имеет только один электрон на внешней оболочке, бериллий — два, и т. д., вплоть до неона, у которого все восемь мест заняты электронами.

Li	Be
----	----

B	C	N	O	F	Ne
---	---	---	---	---	----

Подобное положение имеет место и в других пяти горизонтальных рядах периодической таблицы.

С первого элемента каждого ряда начинается заполнение новой оболочки.

В каждой вертикальной колонке периодической системы находятся элементы, имеющие одинаковое число электронов на внешней оболочке.

Водород, литий, натрий, калий, рубидий, цезий, франций — все они имеют единственный электрон на внешней оболочке.

На другом, правом краю периодической таблицы находятся элементы, у которых внешние оболочки заполнены, — это гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон.

H
Li
Na
K
Rb
Cs
Fr

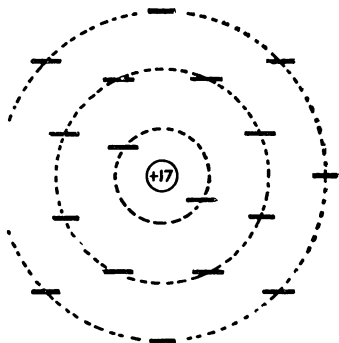
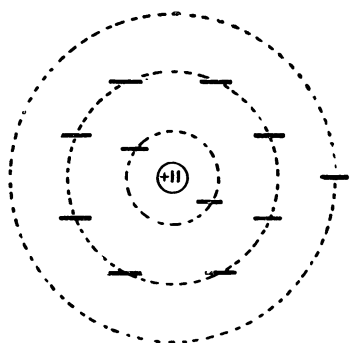
He
Ne
Ar
Kr
Xe
Rn

Элементы каждой вертикальной колонки являются членами одного и того же семейства. А так как все они имеют одинаковое число электронов на своих внешних оболочках, то обладают сходными химическими свойствами.

Не считая самого водорода, элементы в первой колонке — химические родственники водорода — называются *щелочными металлами*. Каждый из них имеет единственный электрон, который способен перемещаться в химических реакциях.

Такая реакция имеет, например, место, когда натрий соединяется с хлором, образуя молекулы всем известной пищевой (поваренной) соли.

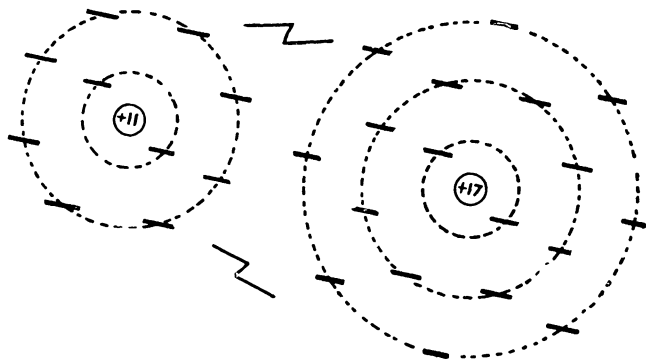
На двумерной модели атома натрия можно видеть, что он имеет 11 протонов в ядре и 11 электронов, уравнивающих положительный заряд ядра: два электрона на первой оболочке, 8 — на второй и 1 — на третьей.



В атоме хлора 17 электронов — 2, 8 и 7 на каждой из оболочек. У натрия имеется один внешний электрон, в то время как хлору не хватает одного электрона до заполнения оболочки.

Они образуют химическое соединение тогда, когда единственный электрон с внешней оболочки натрия перепрыгнет и заполнит внешнюю оболочку атома хлора.

Натрий, оставшийся без электрона, становится положительно заряженным. Один из его отрицательных зарядов (электрон) прибавился к хлору. Два атома теперь



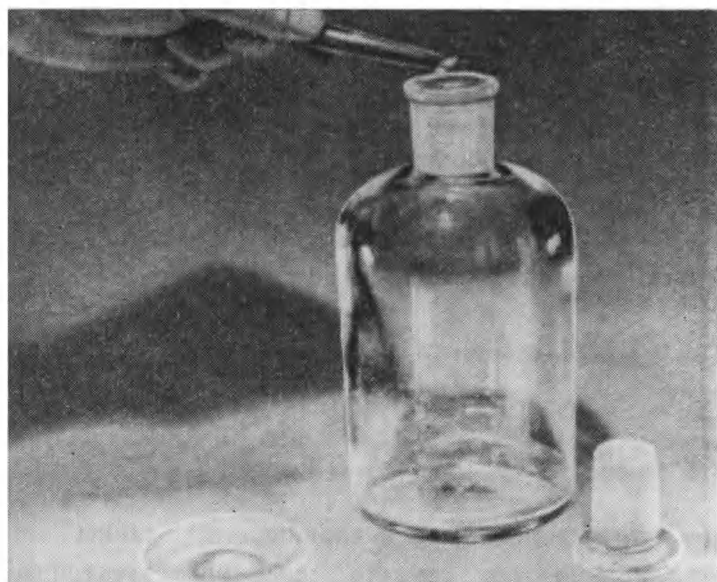
имеют противоположные заряды и, таким образом, удерживаются вместе сильной электрической связью.

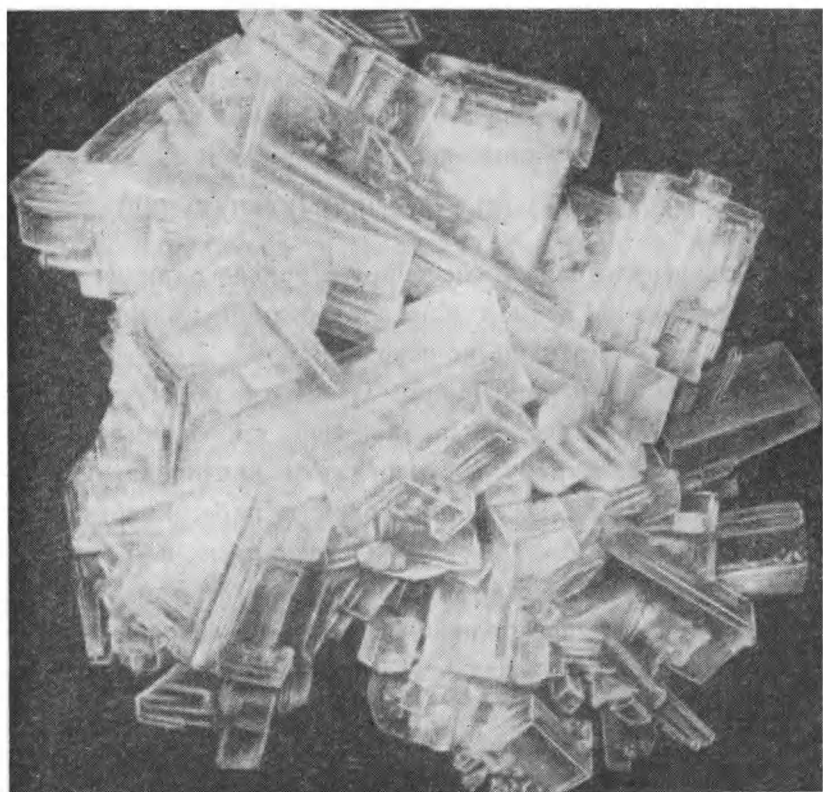
Собственно, правильнее говорить не об атомах, а *ионах*, имеющих противоположные заряды, так как атомы, которые лишились своей нейтральности путем присоединения или потери электронов, называются *ионами*.

Чтобы осуществить на практике этот эксперимент, мы должны взять бутылку с хлором, который представляет собой желтовато-зеленый ядовитый газ, и бросить в нее кусочек мягкого ядовитого металла — натрия.

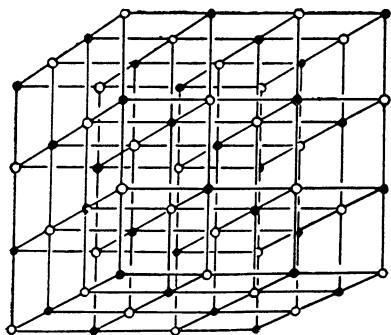
Вскоре, когда натрий и хлор соединятся, образуется пищевая соль NaCl .

Конечно, только очень большое число молекул соли или какого-нибудь другого соединения, сгруппировавшихся вместе, может образовать заметные количества его.





Натрий и хлор растут вместе в виде кристаллов. Ионы натрия и ионы хлора, перемежаясь между собой, образуют кубическую решетку.



Кристаллы соли обычно несовершенны и имеют различные дефекты. Однако кристаллы, выращенные без нарушений, обладают отчетливой кубической структурой. Изображенный на предыдущей странице сложный кристалл

включает огромное число атомов — приблизительно 10^{25} атомов натрия и столько же атомов хлора.

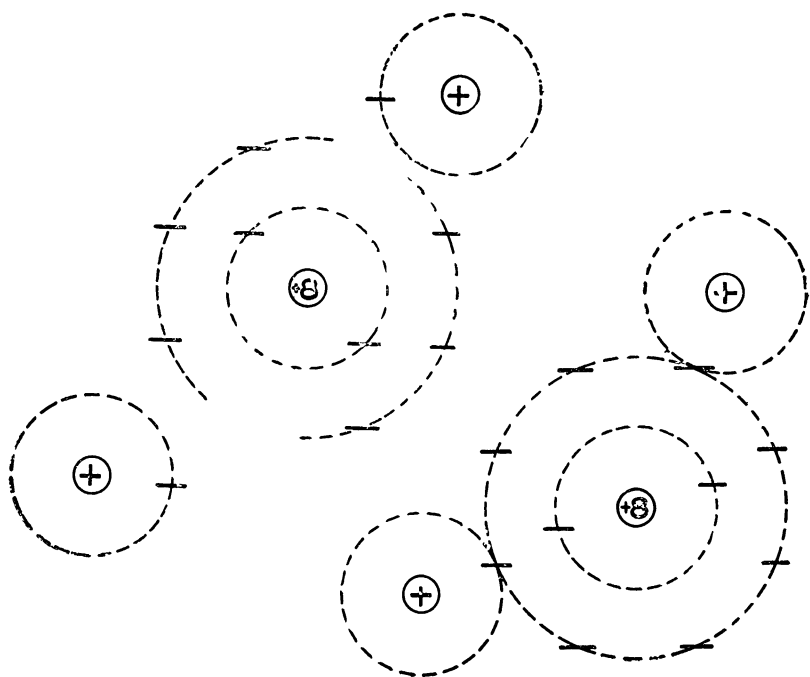
Это число выглядит очень внушительно:

10 000 000 000 000 000 000 000 000 000.

Поваренная соль иллюстрирует только один из способов соединения атомов при образовании молекул. Этот способ, однако, отнюдь не основной.

Другим примером может служить вода. Пусть у нас есть два атома водорода, каждый из которых имеет по одному электрону, и один атом кислорода. Кислород, содержащий восемь протонов в ядре, имеет также 8 электронов. Два электрона находятся на внутренней оболочке и шесть — на внешней, при этом на ней остаются два незаполненных места, которые, вероятно, могут быть заняты электронами двух атомов водорода.

Но в данном случае электроны не передаются, как это было с натрием и хлором. Вместо этого два атома



водорода приближаются к атому кислорода и владеют своими электронами совместно с ним. Соединение атомов в молекулы по такому способу называется по-разному: или совместное владение электронами, или связь с помощью электронных пар, или, наконец, *ковалентная связь*. Огромное число молекул образуется именно по этому принципу.

В таких молекулах возникают ничтожные электрические токи, постоянно меняющие направление. Это обстоятельство заставляет молекулы притягиваться друг к другу и сцепляться вместе, образуя видимые количества воды, сахара или других веществ. При отсутствии сил, удерживающих молекулы вместе, все молекулы передвигались бы независимо, как в воздухе, и любое вещество было бы газообразным.

Первые элементы

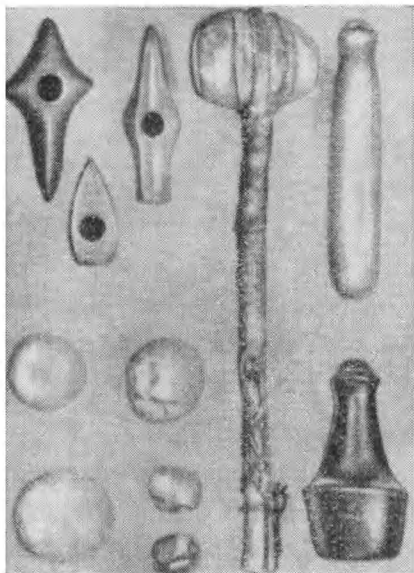
Как и когда были открыты химические элементы?

История открытия элементов уходит в глубокую древность. Когда человек впервые добыл огонь,

он стал оставлять в лесах уголь, образовавшийся при сжигании дерева. Первое свое «художественное произведение» человек также сделал кусочком угля на стене пещеры.

В Каменном веке из камня высекались инструменты и оружие: наконечники для копьев, молотки и ножи. Жители древней Индии достигли замеча-

тельных результатов в искусстве обработки природных материалов. Их сосуды были изготовлены из глины, т. е. из соединений алюминия, кремния и кислорода.



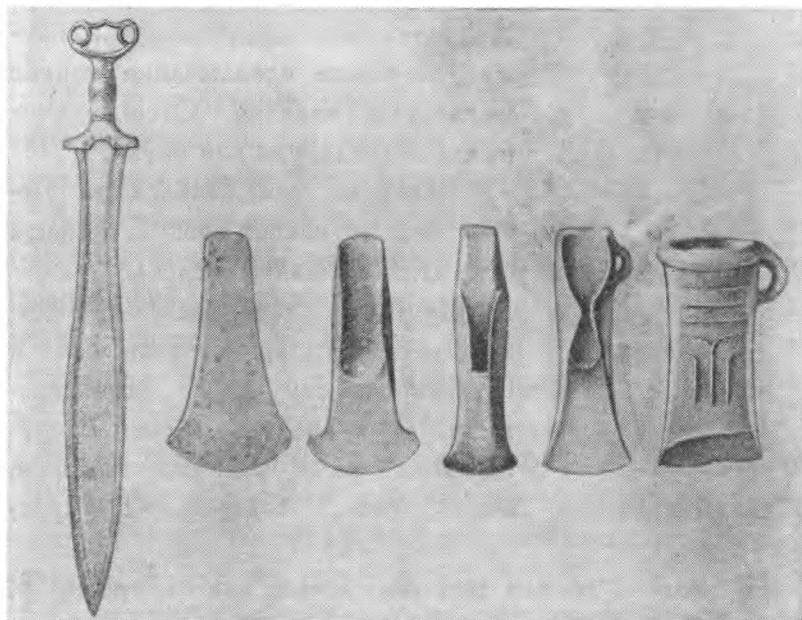
Конечно, в то время ни у кого не возникала мысль, что существуют элементы, или что глина и камень состоят из каких-то отдельных частей.

Время шло, и человек стал овладевать тем, что окружало его, он начал извлекать элементы из материалов, которые находил в земле, и обрабатывать их.

Эту «богатую землю» мы теперь называем рудой.

Галенит, или сульфид свинца, — довольно широко распространенная руда. И древние люди получали свинец из галенита при помощи процесса, который был, по существу, открыт случайно. Из свинцовой руды, смешанной с углем, на костре выделялись капельки чистого металлического свинца.

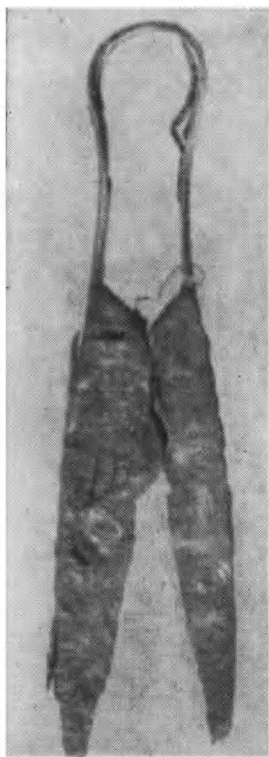
Другой рудой, известной древнему человеку, была киноварь, или сульфид ртути. При нагревании этой руды



происходит химическая реакция, в результате которой образуется чистая ртуть.



Любознательность человека и его способности обрабатывать материалы постепенно росли; он открыл самородную медь и научился извлекать медь и олово из их руд. Смешав медь и олово, он получил бронзу. Это знаменовало столь важный этап в человеческой истории, что мы называем его Бронзовым веком.



В этот период изготавливались замечательные инструменты и оружие, а также чрезвычайно тонкие ювелирные изделия. Отсюда возникла металлургия как наука.

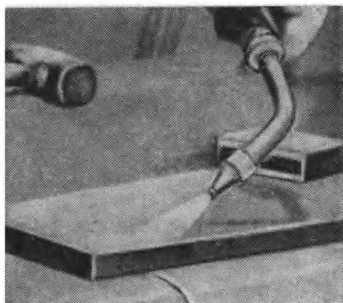
Железный век начался за тысячу лет до нашей эры, с момента открытия выплавки железа.

На самом деле железо, видимо, неоднократно открывалось и переоткрывалось и до того времени. Оно впервые было обнаружено в золе больших костров, раскладывавшихся возле скал, содержащих красную руду.

Из железа делали молотки, шила, ключи, гребни и, конечно, оружие. В те времена подъем и падение цивили-

зации были непосредственно связаны со степенью развития металлургии, с мастерством ремесленников различных народов.

Главное, человек научился извлекать элементы из окружающей природы, из руд, содержащих эти элементы. Первоначально метод был весьма грубым и сводился к использованию тепла и в некоторых случаях угля. Для его реализации требуется только костер, и его, конечно, легко воспроизвести в лаборатории.



Поместим кусочек руды, например свинцовой, на графитовую пластинку и нагреем ее. В результате образуется относительно чистый кусочек свинца.

Как только металл был извлечен из руд, или открыт в чистом виде, как это имело место в случае золота, первобытный человек быстро обнаружил, что металлу можно придавать различную форму. Он научился ковать металл и даже изготавливать тонкие, как листок, пластины.

Затем первобытный человек научился обращаться с некоторыми другими химическими элементами, хотя, конечно, не знал и не подозревал, что имеет дело с элементами.

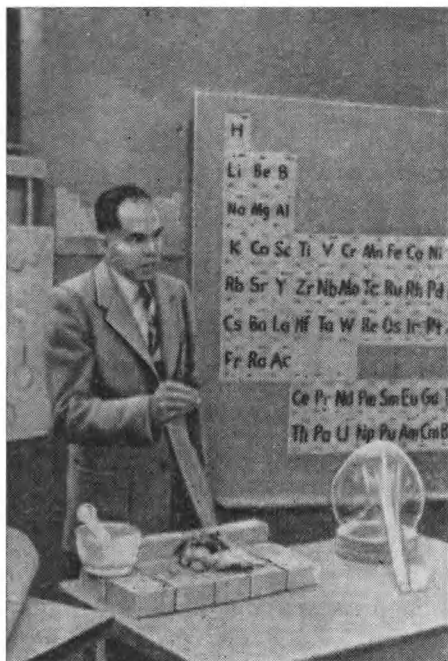
Естественно, он овладел углеродом в виде угля.

От алхимии к химии

Ничего значительного в области выделения химических элементов не было сделано до периода, который называется Средними веками. В эти времена появились алхимики. Они работали с помощью примитивного оборудования — реторт, ступок с пестиками, которые теперь для нас имеют лишь символическое значение.

Алхимики ставили различные опыты, начиная от таких, которые относятся к области магии (например, поиски эликсира жизни), и до экспериментов, которые предшествовали современной химии.

Алхимики часто говорили о «философском камне», с помощью которого они надеялись превращать обычные металлы в золото. Сейчас трудно сказать, что они принимали за это мифическое вещество. Возможно, это не была какая-то определенная вещь и даже не камень. Некоторые историки полагают, что это был сульфид ртути, но другие придерживаются иного мнения.



Если не считать этих бесполезных попыток, то алхимики осуществили ряд важных химических экспериментов. Они, например, извлекали металлы из руд, хотя это и не было чем-то необычным по сравнению с предшествующими достижениями металлургии.

Наиболее важным их творением явились кислоты, которые много позднее стали основными продуктами промышленной химии.

Один их эксперимент состоял в нагревании вещества, подобного сульфату железа, и выделении того, что они называли купоросом. Это соединение теперь известно как серная кислота.

Алхимики умели также получать соляную и азотную кислоты и изготавливали другие химикалии: поташ и карбонат натрия, которые позднее оказались важными промышленными продуктами.

Несмотря на их некоторые чуждые нам методы и цели, алхимики заслужили признание, так как они интересовались и теорией, и практическими исследованиями. Те знания, которые они накапливали путем экспериментирования, они пытались систематизировать с помощью схем, подобных той, которая изображена на стр. 12. Они считали, что элементарными веществами природы являются огонь, земля, вода и воздух, и стремились установить логические отношения между этими четырьмя «элементами». В известном смысле их причудливая схема была предшественницей нашей современной периодической системы.

Несомненно, алхимики оказали большое влияние на развитие химии. Они сделали массу откры-

тий и в течение XII—XIV столетий сумели обнаружить три важных химических элемента: мышьяк (As), сурьму (Sb) и висмут (Bi). Все они входят в одно и то же химическое «семейство» и расположены в нашей современной периодической таблице в одной вертикальной колонке.

Сходство между этими тремя элементами показывает, что грубые химические методы алхимиков, вероятно, сводились к одному определенному типу экспериментов, в которых химические свойства определенного типа играли важную роль.

После этого трио (мышьяк, сурьма, висмут) в течение нескольких столетий не было открыто новых элементов, за исключением платины, которая была выделена в Мексике примерно к середине XVI столетия. Ее название происходит от испанского слова и означает «малое серебро».

В XVIII веке платина использовалась, видимо, только для подделки золотых монет. В течение нескольких лет в начале XIX столетия Россия чеканила платиновые монеты.

Ни об одном из тринадцати элементов, известных к середине XVII столетия, мы не знаем, когда и кем он был открыт. То же самое можно сказать и о цинке, который был выделен в чистом виде в конце XVII века или, возможно, несколько раньше.

33	Мышьяк
As	74,91
51	Сурьма
Sb	121,76
83	Висмут
Bi	208,99

Но к этому времени наука начала принимать вполне современную форму. Люди стали изучать природу, химию, элементы ради тех знаний, которые можно извлечь из их исследования. Новые открытия регистрировались и публиковались.

Правда, и ученые Древней Греции интересовались наукой ради самой науки. Они даже создали хорошо разработанную атомную теорию, которая во многих отношениях сходна с современной атомной теорией. Однако греческие ученые не любили производить экспериментов, и поэтому их теории так и оставались на бумаге и никогда не развивались.

Первым элементом, который был открыт одним человеком и который действительно может рассматриваться как его детище, оказался фосфор, что означает «носитель света».

Фосфор был открыт алхимиком и торговцем по имени Хенниг Бранд во время поисков им «философского камня», в Гамбурге (Германия) в 1669 г. Бранд получал фосфор из сухого остатка мочи, но держал процесс изготовления в секрете. Он обнаружил, что новое вещество обладает замечательным свойством: оно ярко сияет в темноте, после того как некоторое время выдерживается на свету. Бранд придумал массу забавных фокусов с фосфором и показывал их своим знакомым, неплохо зарабатывая на демонстрации этих опытов. Позднее было установлено, что фосфор является химическим элементом, и он получил свое название.

Кобальт был открыт в 1737 г., а никель четырнадцать лет спустя. Кобальтовые и никелевые руды первоначально ошибочно были приняты за медную руду,

а так как из них не удавалось извлечь медь, то считалось, что в этих рудах сидят злые духи. Отсюда их названия — кобальт (домовой) и купферникель (дьявольская медь), — сохранившиеся и до настоящего времени.

Далее был открыт водород.

Водород легко получить, положив кусочек металла в раствор кислоты, например в соляную кислоту. При этом выделяются пузырьки водорода.

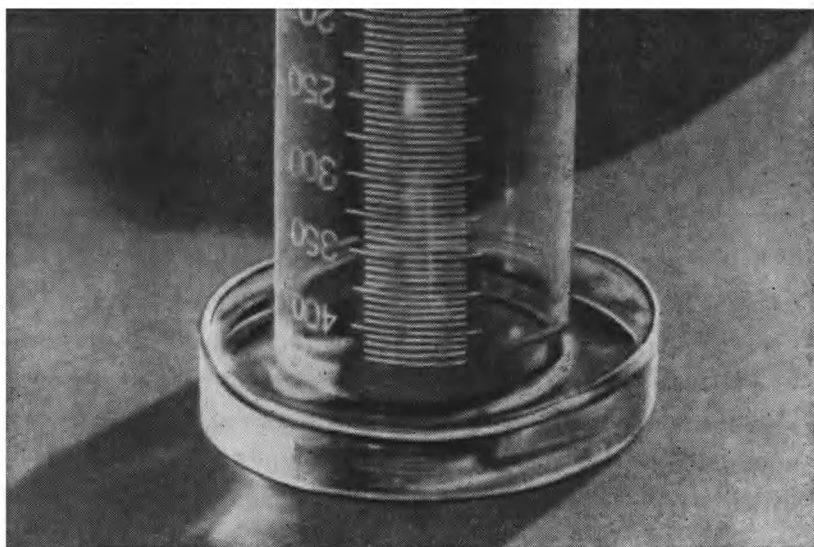
Тот факт, что при опускании металла в кислоту образуются пузырьки, был установлен давно, но никому не приходило в голову, что выделяющийся газ отличается от других известных газов.

И только Генри Кавендиш в 1766 г. изучил свойства газа, образующегося в этой реакции, и точно описал его. Когда позднее выяснилось, что этот газ при сгорании образует воду, он был назван *водородом*, или *водою рождающим* (водород).

В 70-е годы XVIII века многие ученые стали производить опыты с обычным воздухом, пытаясь обнаружить, из чего он состоит.

Даниэл Резерфорд открыл, что при горении или дыхании используется только часть данного объема воздуха. Например, если мы зажжем свечу и поместим ее в закрытый сосуд, то свеча некоторое время погорит, а затем погаснет. При горении расходуется часть воздуха, и свеча отказывается гореть в оставшейся части его. Если вместо свечи поместить в сосуд мышь, то и она, использовав часть воздуха, умрет.

Резерфорд исследовал газ, который остается после того, когда гаснет свеча или у мыши останавливается



дыхание. Оказалось, что этот газ отличается от обычного воздуха. Он не поддерживает горения, и животные не могут в нем жить.

Вот почему Резерфорд считается первооткрывателем азота.

Одновременно с Резерфордом еще ряд ученых, а именно Кавендиш, Джозеф Пристли и Карл Шееле проводили подобные работы. Однако Резерфорд был первым, кто точно описал азот.

Примерно в тот же период многие ученые изучали другой основной компонент воздуха — кислород.

Пристли подогрел красный порошок, окись ртути, сфокусировав на него с помощью линзы пучок света, и обнаружил, что образующийся при этом газ очень эффективно поддерживает горение. Так он открыл кислород.

В те же годы итальянский физик Александр Вольта создал первый электрический элемент.

В начале XIX века английский химик Гемфри Дэви, используя очень большую электрическую батарею, провел опыты с веществом, которое теперь известно как гидроокись калия. Это соединение было хорошо известно, но никто не знал, из чего оно состоит.

Дэви открыл, что, расплавив это соединение и пропустив через него электрический ток, можно получить новый химический элемент.

В настоящее время, чтобы повторить этот опыт, мы просто должны расплавить гидроокись калия в металлическом тигле, подсоединив его к одному из полюсов источника тока. Если затем платиновую проволоку, соединенную с другим полюсом, опустить в расплавленное вещество, то вокруг конца проволоки образуется небольшое количество металлического калия.

Через несколько дней после открытия калия Дэви провел тот же эксперимент, используя вместо гидроокиси калия гидроокись натрия, и выделил натрий. Так Дэви стал первооткрывателем обоих этих металлических элементов — калия и натрия.

Между 1800 и 1869 гг. химия шагнула еще дальше, и число элементов, известных человеку, почти удвоилось.

В это время ученые всех стран включились в погоню за новыми элементами.

Последовательно были открыты: ванадий (V), два химических «родственников» — ниобий (Nb) и тантал (Ta), церий (Ce), палладий (Pd),

представляют собой нечто совершенно отличное от химических соединений.

Явно ощущалась необходимость создания какой-либо классификации известных элементов, и ученые вскоре начали предпринимать попытки разобраться в создавшейся ситуации.

Многие из них бились над идеей, что различия элементов, возможно, находятся в какой-то связи с их атомными весами.

Первым, кому удалось установить многообещающую связь между несколькими элементами, был немецкий химик Иоганн Вольфганг Деберейнер. В 1829 г. он выдвинул свою идею триад.

Он нашел, что если поместить элементы с оди-

наковыми свойствами, например литий, натрий и калий, один над другим, то атомный вес среднего элемента будет равен полусумме атомных весов верхнего и нижнего элементов. Кроме того, химические свойства среднего элемента являются средними между свойствами двух крайних.

Другими примерами таких триад были кальций — стронций — барий и хлор — бром — иод.

В последующие двадцать пять лет химики расширили систему триад Деберейнера и обнаружили группы, со-

3	Литий
Li	
6,940	
11	Натрий
Na	
22,991	
19	Калий
K	
39,100	

20	Кальций
Ca	
40,08	
38	Стронций
Sr	
87,63	
56	Барий
Ba	
137,36	

стоящие из четырех или пяти взаимно связанных элементов.

Li		N	O	F
Na	Mg	P	S	Cl
K	Ca	As	Se	Br
	Sr	Sb	Te	J
	Ba	Bi		

Это были важные шаги на пути построения системы элементов.

В 1862 г. французский химик Шанкуртуа разместил химические элементы по спирали соответственно их атомным весам. Эта спираль соединяла вместе элементы с близкими химическими свойствами, и каждая пара сходных друг с другом элементов отличалась по атомным весам на 16 единиц (т. е. на атомный вес кислорода). Шанкуртуа предполагал, что свойства элементов относятся между собой так, как целые числа.

Двумя годами позже английский ученый Ньюлендс попытался расположить первые семь элементов: водород, литий, бериллий, бор, углерод, азот и кислород подобно музыкальным нотам. Каждый из этих семи элементов возглавлял группу элементов с одинаковыми

свойствами. Ньюлендс назвал это расположение элементов, разделенных на семь групп, «законом октав».

Настоящая победа пришла в 1869 г., когда немецкий химик Лотар Мейер и великий русский химик Дмитрий Иванович Менделеев открыли принцип построения периодической системы.

Прежде всего они расположили все известные элементы по порядку возрастания их атомных весов.

Водород не очень хорошо укладывался в их систему, и они начали с лития и бериллия. Было обнаружено, что если скомпоновать один ряд и разместить под ним второй, то элементы с одинаковыми химическими свойствами оказываются лежащими один под другим, причем это справедливо для всей таблицы.

Li	Be	B	C	N	O	F
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl

После того как была составлена таблица, выяснилось, что несколько групп элементов никак не укладываются в эти семь категорий. Их удалось включить в таблицу лишь позднее.

Д. И. Менделеев заметил, что при попытке составить вертикальные столбцы из элементов, обладающих одинаковыми свойствами, остается несколько пустых мест. Показанная ниже частная форма периодической таблицы

отличается от более поздней, расширенной таблицы, изображенной на стр. 79 и 85.

Li	Be	B	C	N	O	F			
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl			
K	Ca		Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Cu	Zn			As	Se	Br			
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo				

Важнейшим вкладом Менделеева явилось то, что он обнаружил пробелы в периодической таблице и заявил, что эти пустые места должны быть заполнены пока еще не открытыми элементами.

Менделеев пошел еще дальше. Он взял на себя смелость предсказать, как будут выглядеть эти, тогда еще не открытые элементы, каковы будут их атомные веса и химические свойства.

Так как он считал, что три не обнаруженных пока элемента должны быть похожи на бор, алюминий и кремний, то он предположительно назвал их соответственно эка-бором, эка-алюминием и эка-кремнием.

В частности, эка-кремний, как утверждал Менделеев, должен быть твердым веществом грязно-серого цвета с атомным весом 72 и плотностью 5,5; эка-кремний должен образовывать жидкий хлорид.

Перечисленные элементы никогда раньше никто не предсказывал. И если хотя бы один из этих трех

элементов был бы открыт, это навсегда доказало бы значение и мощь системы химических элементов Менделеева.

В оставшиеся три десятилетия XIX столетия в основу расположения элементов клались их относительные веса.

B	C
Al	Si
<i>Эка-бор</i>	Ti
<i>Эка-алюминий</i>	<i>Эка-кремний</i>
Y	Zr

Как оказалось впоследствии, более правильно размещать элементы не по атомным весам, а в соответствии с их атомными номерами.

Атомный номер элемента представляет собой число положительных электрических зарядов его атомного ядра. Как правило, элементы с бóльшим зарядом имеют и бóльший атомный вес. Но это не всегда так: например, в случае кобальта и никеля имеет место как раз обратное.

Тот факт, что положительный заряд атома сосредоточен в плотном, чрезвычайно маленьком ядре, был открыт в 1911 г. английским физиком лордом Эрнестом Резерфордом.

В течение двух последующих лет датский физик Нильс Бор детально разработал теорию строения атома и описал орбиты различных групп электронов, вращающихся вокруг ядра.

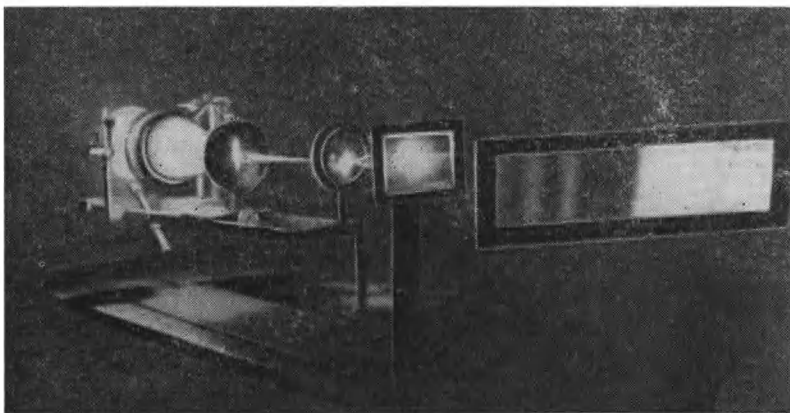
В 1913 и 1914 гг. английский ученый Генри Мозели дал окончательное определение атомного номера как положительного заряда ядра.

С этих новых позиций удалось пересмотреть всю периодическую систему и объяснить некоторые факты, казавшиеся ранее противоречивыми.

Однако задолго до этого, когда Менделеев еще разрабатывал свою периодическую таблицу, возникла возможность открывать новые элементы с помощью созданного в это время чудесного прибора, называемого спектро-скопом.

Распознавание элементов с помощью спектроскопа

Спектроскоп стал одним из наиболее мощных инструментов современной научной лаборатории. Его назначение — анализировать свет. Это достигается путем разложения света от данного источника, подобно тому как дождевые капли разлагают солнечный свет во все



цвета. радуги. В приборе, конечно, вместо дождевых капель используется призма или дифракционная решетка. Получающийся в результате разложения спектр состоит из специфических цветов — или длин волн, — присутствующих в любом данном пучке света.

С помощью спектроסקопа ученые смогли создать своего рода систему атомных «отпечатков пальцев»: вещество распознается (*идентифицируется*) по составу света, который оно испускает.

Именно спектроскоп позволил открыть один из неизвестных элементов, предсказанных Менделеевым.

Мы можем распознавать элементы — правда, грубо — по цвету испускаемого ими света.

Раствор натрия, внесенный в пламя горелки, дает яркий желтый свет.

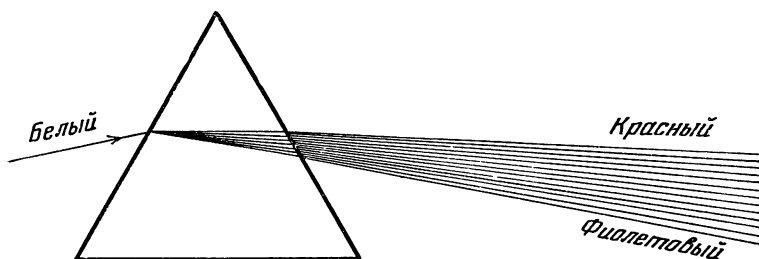
Соединения меди, внесенные в пламя, излучают яркий зеленый свет, а соединения стронция — малиновый.

Свет, испускаемый каждым из этих соединений, является характерным для элемента и поэтому может быть использован для его идентификации.

Чтобы рассмотреть свет во всех его деталях, мы можем пропустить его через призму или через дифракционную решетку, которая действует подобно длинному ряду микроскопических призм, расположенных на равном расстоянии друг от друга.

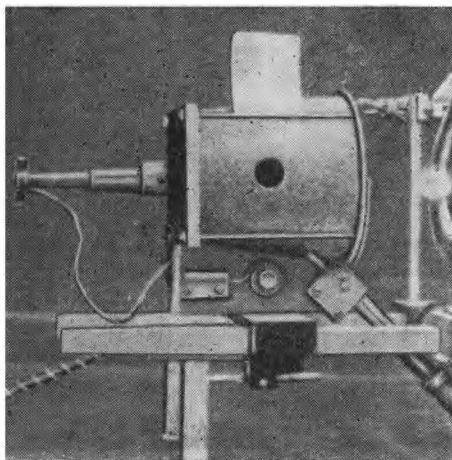
Призма или дифракционная решетка отклоняет свет в зависимости от его цвета. Когда белый свет — который состоит из всех цветов — проходит через призму, то красный цвет отклоняется меньше других.

Оранжевый свет отклоняется несколько сильнее, чем красный, желтый — еще сильнее; далее идут зеленый, синий и, наконец, фиолетовый.



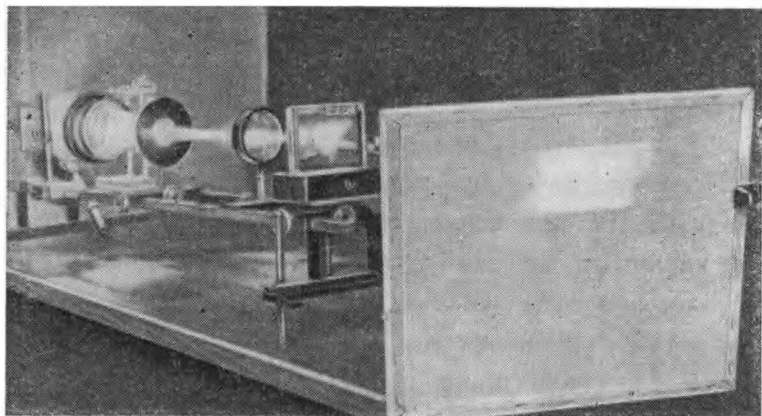
Если в качестве источника используется угольная дуга, то она испускает почти белый свет, потому что характеристический свет углерода проходит через весь спектр (как называют набор цветов) — от красного через оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и до фиолетового.

Угольная дуга состоит главным образом из двух угольных палочек (электродов) диаметром около полутора сантиметров с зазором между ними. На фотографии видно, что одна угольная палочка вставляется горизонтально слева, а другая направляется под углом снизу. Концы их встречаются внутри металлического кожуха. Зазор между ними



находится как раз позади черного кружочка, который представляет собой темно-красное смотровое окошко. Свет от дуги выходит справа.

Пучок света проходит через линзу, вертикальную щель, еще одну линзу и затем через прямоугольную дифракционную решетку. Спектр проектируется на экран, расположенный справа.



Когда сильный электрический ток проходит через угольные палочки (электроды), то в зазоре между ними проскакивает искра, и возникает так называемая *дуга*; выделяющееся при этом тепло и электрический ток возбуждают атомы углерода, которые в результате испускают типичный для углерода свет.

Если один из угольных электродов предварительно опустить в раствор какого-нибудь другого элемента, свет этого элемента наложится на свет углерода.

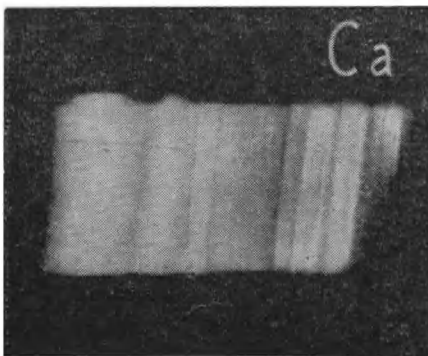
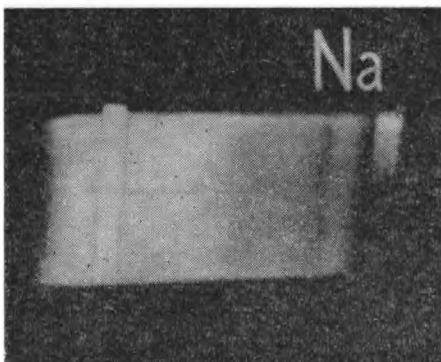
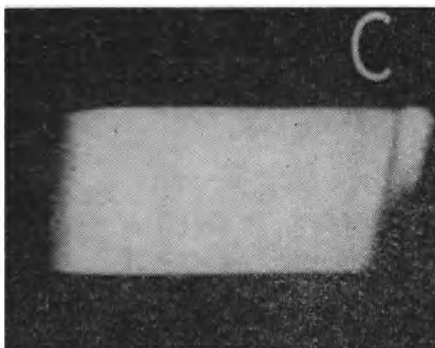
Например, если один из угольных электродов вначале погрузить в раствор натрия, захватив таким образом некоторое количество его, то результирующий

спектр дуги будет уже спектром углерода и натрия. Свет натрия четко выделяется, так как его спектр очень сильный в желтой области, тогда как свет от углерода относительно равномерно охватывает весь спектр.

Даже на грубом спектре будут ясно видны эти различия. Спектр углерода представляет собой почти сплошную полосу, отчасти сходную с белым солнечным светом.

Если использовать уголь, смоченный в растворе натрия, спектр, прошедший через дифракционную решетку, пополнится сильной желтой компонентой.

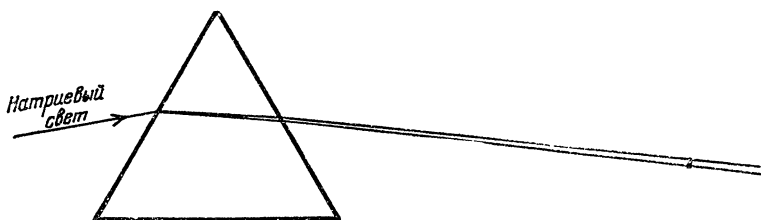
Желтый свет испускается и натриевой лампой. Предметы, окрашенные в белый или желтый цвет, будут очень хорошо отражать натриевый свет. Однако



одежда, которая в обычном свете является красной, в натриевом свете будет казаться темно-коричневой, потому что красный цвет не содержится в спектре натрия, и этот цвет не будет отражаться красным материалом.

Если мы пропитаем угольный электрод раствором кальция, то результирующий спектр будет иметь цвета, характерные для кальция.

Натриевый свет, проходящий через решетку или призму, дает только лишь узкую желтую линию.

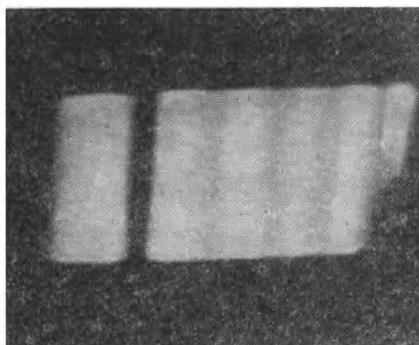


Мы пока говорили об *эмиссионном спектре* элемента, т. е. о таком свете, который испускается раскаленным элементом.

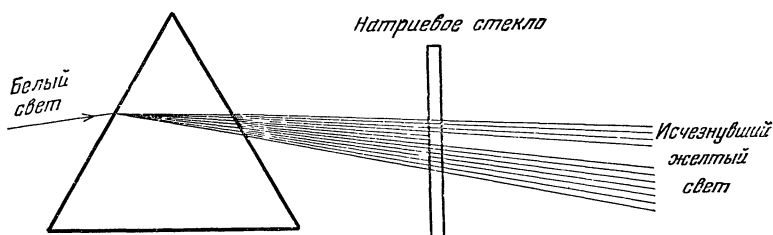
Но элемент может и поглощать свет, причем в точности такой, какой он способен испускать.

Натрий, например, может поглощать желтый свет той же длины волны, что и испускается натриевой лампой. Стекло, содержащее натрий, если его поставить перед угольной дугой, будет поглощать и, следовательно, экранировать свет, имеющий ту же самую длину волны. В свете, прошедшем через призму или дифракционную решетку, изготовленные из такого стекла, будет отсутствовать натриевый желтый свет. Характерный натриевый эмиссионный спектр в этом случае имеет

«обратный» вид и подобен в этом смысле негативу, где вместо ярких линий позитива оказываются темные.



Так что, поставив кусочек стекла, содержащего натрий, между чистой угольной дугой и нашей решеткой, мы получим спектр углерода минус спектр натрия. Это и есть *абсорбционный спектр* или *спектр черных линий* элемента натрия.

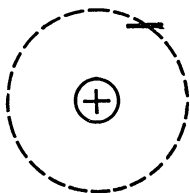


Таким образом, имеются два способа идентификации элемента с помощью спектроסקопа: 1) по характеру цвета, т. е. по длинам волн, которые элемент испускает, когда он возбужден, и 2) наоборот, по цвету, поглощаемому элементом и, следовательно, «вычеркиваемому» из спектра.

Очевидно, имея в своем распоряжении спектроскоп, мы обладаем мощным средством обнаружения как неизвестных веществ, так и известных элементов и их соединений.

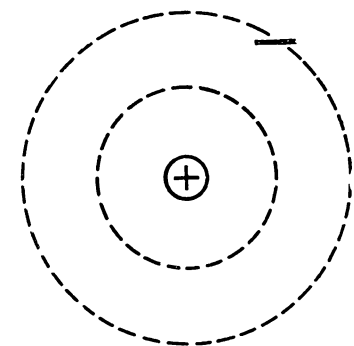
Более того, этот метод настолько чувствителен, что может быть использован для обнаружения одной

трехсотмиллионной доли грамма такого элемента, как, например, натрий. Работа спектро스코па не зависит от расстояния до источника света, и поэтому, анализируя свет, испускаемый Солнцем или звездами, можно обнаружить элементы, находящиеся соответственно на Солнце или в звездах.



Механизм поглощения или испускания света связан с положением внешних электронов в атомах.

Простейшим примером может служить атом водорода с его ядром — протоном и единственным электроном, вращающимся по орбите вокруг ядра. Когда атом поглощает свет, электрон перепрыгивает на другую орбиту с бóльшим радиусом. Когда же атом испускает свет, выделяя при



этом энергию, электрон перепрыгивает внутрь, на меньшую орбиту.

Аналогичная схема имеет место и для внешнего электрона атома лития или, скажем, натрия. Когда электрон перепрыгивает на меньшую орбиту, атом испускает характерный для него свет.

Мы можем теперь вернуться к знаменитому предсказанию Менделеева о том, что должны быть открыты три новых элемента, которым предстоит заполнить три пустых места в его периодической таблице.

Спустя несколько лет после этого предсказания, в 1875 г., французский химик Лекок де Буабодран работал с цинковыми рудами. Он был хорошо знаком с «пророчеством» Менделеева и знал, какого рода новый элемент следовало искать. С помощью спектроскопа де Буабодран обнаружил в образце цинковой обманки предсказанный Менделеевым эка-алюминий. В честь своей родины Франции он назвал этот элемент галлием (Галлия — старое романское название Франции).

В современной периодической таблице галлий непосредственно следует за цинком. Тот факт, что он был обнаружен в цинковой руде, говорит о том, что одинаковые химические свойства иногда обнаруживаются у двух соседних элементов одного горизонтального ряда; обычно же и более естественно такое сходство проявляется у элементов, принадлежащих одной и той же вертикальной колонке периодической таблицы.

Галлий — твердое вещество, однако он имеет температуру плавления лишь немного выше комнатной температуры. Если вы подержите его в руке несколько минут, он начнет плавиться.

Эка-бор был открыт в 1879 г. шведским ученым Ларсом Нильсоном, который назвал его скандием — в честь Скандинавии.

Немецкий химик Клеменс Александр Винклер открыл в 1886 г. предсказанный Менделеевым эка-кремний и назвал его германием — в честь Германии.

В следующей таблице сравниваются некоторые химические свойства эка-кремния, который был пред-

сказан Менделеевым, и действительные свойства германия.

	Эка кремний	Германий
Атомный вес	72	72,6
Плотность	5,5	5,47
Атомный объем	13	13,2
Цвет	грязно-серый	серовато-белый
Свойства его хлорида .	жидкий, кипит ниже 100°	жидкий, кипит при 86,5°

Все три элемента поражали удивительным соответствием между предсказанными и фактическими свойствами. Это подтверждало гениальность Менделеева и укрепляло авторитет его периодической системы элементов. Менделеев получил огромное удовлетворение, увидев эти три элемента открытыми еще при его жизни.



Спустя полстолетия после его смерти в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета (США) был получен элемент с атомным номером 101 и назван менделевием в честь великого русского химика.

Еще до открытия галлия, скандия и германия спектроскоп позволил эффективно обнаружить другой неизвестный элемент.

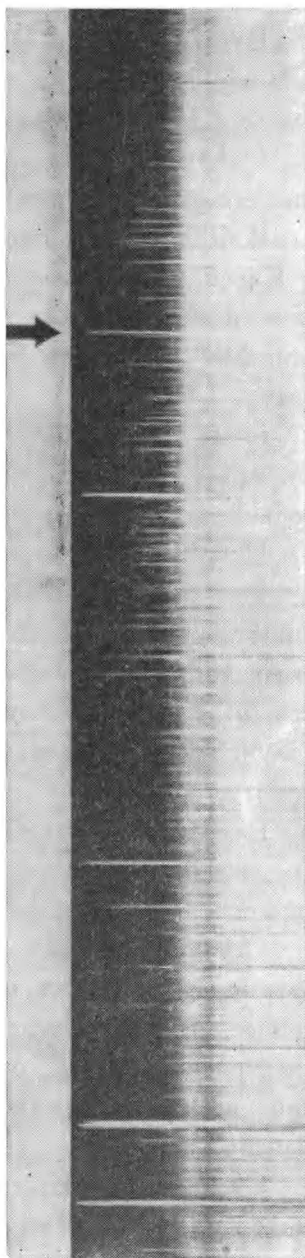
Во время солнечного затмения в 1868 г. спектроскоп был впервые использован для разложения и изучения света, испускаемого хромосферой — накаленной солнечной атмосферой.

Здесь показана часть спектра, полученного французским астрономом Жансеном.

Жансен обнаружил яркую желтую линию в солнечном спектре. Две другие желтые линии легко распознавались как линии натрия. Новая линия, видимо, принадлежала какому-то другому элементу и до того никогда не наблюдалась.

Вскоре выяснилось, что эта особая желтая линия света создается неизвестным элементом, находящимся на Солнце. Элемент был назван гелием (по-гречески Солнце — Гелиос).

Сведения о существовании гелия на Земле появились только спустя двадцать семь лет после этого открытия.



В то время для гелия не было места в периодической таблице Менделеева, точнее, в том ее виде, который она имела в 1870—1880 гг.

Открытие гелия на Земле поставило вопрос о включении его в периодическую систему.

В 1880-е годы профессор физики лорд Рэлей работал в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета в Англии. Он несколько лет занимался исследованиями плотности газов, особенно интересовал его азот.

Рэлей обнаружил, что азот, приготовленный из аммиака, имеет плотность на 0,5—1% меньшую, чем азот, который он извлекал из воздуха.

Почему?

Это различие было, в сущности, небольшим, и большинство ученых считало, что не следует заниматься этим вопросом. Однако химик Уильям Рамзай считал, что этот факт заслуживает дальнейшего изучения, и, получив от Рэрея разрешение, он продолжил его работу.

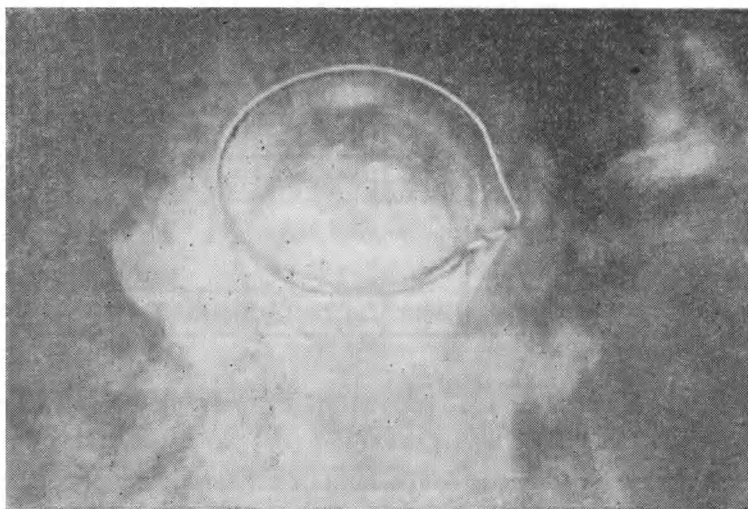
Рамзай взял определенное количество воздуха и удалил из него кислород. Затем удалил азот. Однако все еще оставался небольшой остаток.

Оставшийся газ Рамзай поместил в стеклянную трубку и возбудил его, пропустив через трубку электрический ток. Исследовав накаливаемый газ с помощью спектроскопа, он обнаружил несколько новых линий, не принадлежавших ни одному из известных элементов.

Станным было то, что в периодической системе не было предусмотрено место для нового газообразного элемента.

В следующем году Рамзай открыл другой новый газ, который выделялся при нагревании редкого минерала клевеита. Изучив спектр этого газа, ученый обнаружил, что он совершенно аналогичен спектру солнечного гелия. Рамзай продолжал свои исследования воздуха вместе со своим юным студентом М. Трэверсом. Вскоре они выделили гелий из воздуха, а затем приступили к поискам других газов, похожих на аргон.

Они стали перегонять жидкий воздух.



Различные составные части (компоненты) жидкого воздуха могут отделяться друг от друга при кипении, потому что каждая из них имеет свою температуру кипения. Например, азот из жидкого воздуха выкипает раньше кислорода. Этот процесс называется фракционной перегонкой и является основным методом разделения компонентов нефти.

Рамзай и Трэверс возбуждали полученный газ в разрядной трубке и затем анализировали свет при помощи спектроскопа, который позволил бы им найти новые элементы, если бы они действительно были бы выделены. В течение очень короткого времени они обнаружили три новых элемента и назвали их соответственно *неоном* (значит «новый»), *криптоном* («скрытный») и *ксеноном* («незнакомый»).

Все три элемента были такими же инертными, как и «ленивый» аргон. Они теперь называются *редкими* или *инертными* газами.

Последний из инертных газов был открыт в 1900 г. Эрнстом Дорном. Было известно, что при радиоактивном распаде радия образуется газ. Но именно Дорн установил, что этот газ и есть последний и самый тяжелый член нового семейства. Этот газ также оказался радиоактивным, и его называли *радоном*.

Инертные газы нашли широкое применение, в частности, именно благодаря их инертности. Первый опыт промышленного производства гелия застал англичан врасплох: однажды немецкий военный дирижабль был обстрелян зажигательными пулями, но не загорелся. Этот дирижабль, очевидно, был наполнен гелием вместо легко воспламеняющегося водорода.

Хотя гелий и является наиболее легким элементом после водорода, он обладает совершенно иными свойствами. Водолазы дышат теперь смесью кислорода и гелия, а не кислородо-азотной смесью обычного воздуха. Азот растворяется в

He
Ne
Ar
Kr
Xe
Rn

крови: водолазов и вызывает «кессонную болезнь»; гелий же растворяется в значительно меньшей степени.

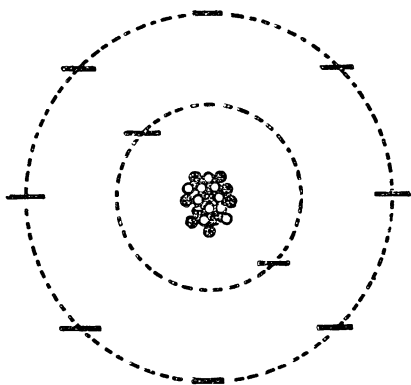
Еще в 1903 г. Рамзай показал, что гелий является продуктом радиоактивного распада радия. В эксперименте Рамзая впервые было обнаружено превращение одного элемента в другой. В настоящее время гелий используется в качестве источника бомбардирующих частиц в современных атомных машинах — ускорителях. Ядро гелия, лишенного двух атомных электронов, представляет собой обычный продукт радиоактивного распада; оно носит название *альфа-частицы*. Аргон применяется при сварке, так как он инертен и, следовательно, предохраняет металлы от окисления во время сварки. Аргон используется также для наполнения счетчиков Гейгера и ламп накаливания. Аргон, неон и некоторые другие инертные газы используются в наших «неоновых» вывесках и рекламах. Различные окраски в них получаются в результате того, что внутренняя поверхность стеклянных трубок покрывается различными флуоресцирующими веществами, а также благодаря наполнению трубки той или иной смесью инертных газов.

Совершенно невероятным может показаться то, что эти газы вообще не обладают химическими свойствами. Они не соединяются и не реагируют ни с какими другими элементами *). Это странное поведение — отсутствие каких-либо химических свойств — связано с электронной структурой их атомов.

*) В настоящее время ученым удалось получить соединения и этих «инертных» элементов. (Прим. перев.)

В атоме натрия имеется внутренняя оболочка из двух электронов и еще один электрон, расположенный над этой заполненной оболочкой, который также вращается вокруг ядра. Натрий — чрезвычайно активный и потому опасный элемент. Его химическая активность обусловлена наличием этого единственного внешнего электрона.

У элемента, находящегося в периодической таблице перед натрием, нет активного внешнего электрона; именно такая симметричная картина расположения электронов имеет место в атоме



неона. Оболочка из восьми электронов, как и внутренняя оболочка, состоящая из двух электронов, полностью заполнена. Можно сказать, что неон, попросту говоря, не заинтересован в обмене. Он не склонен к захвату электронов от каких-то других атомов и не имеет таких внешних электронов, которые можно было бы отдать другим атомам. Таким образом, неон почти совсем не обладает химическими свойствами.

Если взять атом, у которого имеется на один электрон меньше, чем у неона, то у такого атома будет одно свободное место в его внешней оболочке. Так обстоит дело в случае фтора, который сильно стремится получить недостающий внешний электрон, чтобы заполнить свою внешнюю оболочку. Поэтому фтор,

подобно натрию, также один из наиболее активных элементов.

Инертные, или редкие, газы действительно очень редки на Земле; в частности, из-за этого они и были открыты значительно позднее других элементов. Они заняли в периодической таблице вертикальную колонку, которую Менделеев не мог предсказать.

Одновременно с галлием (Ga), скандием (Sc), германием (Ge) и фтором (F) были открыты еще восемь новых элементов, относящихся к группе «редких земель»: иттербий (Yb) в 1878 г., самарий (Sm), гольмий (Ho) и тулий (Tu) в 1879 г., празеодим (Pr) и неодим (Nd) в 1885 г., гадолиний (Gd) и диспрозий (Dy) в 1886 г. Полоний (Po) и радий (Ra) были открыты в 1898 г., а затем последовали актиний (Ac) в 1899 г., европий (Eu) в 1901 г., лютеций (Lu) в 1907 г. и протактиний (Pa) в 1917 г.

Лантан и другие четырнадцать «редкоземельных» элементов, называемых *лантанидами* (потому что все они подобны лантану), находятся в периодической системе между барием и гафнием. Для удобства они помещены внизу в отдельном ряду. «Редкими землями» их называли из-за сходства с известью и магнием, которые когда-то называли «землями».

Актиний и актинидные элементы (торий и другие) также помещены отдельно внизу таблицы. Каждый актинидный элемент подобен, с одной стороны, актинию, а с другой — лантанидному элементу, с которым он образует пару. Открытие гафния (Hf) в 1923 г. и рения (Re) в 1925 г. дополнило периодическую таблицу, после чего вплоть до урана осталось только четыре свободных места.

Каждый элемент размещается в периодической таблице согласно его атомному номеру. Этот номер, как мы уже говорили, представляет собой величину положительного электрического заряда атомного ядра, или, что то же самое, число отрицательных зарядов (электронов), вращающихся вокруг ядра.

H																	He				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe				
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po		Rn				
	Ra																				
		↓																			
		La	Ce	Pr	Nd		Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu					
		Ac	Th	Pa	U																

В первом горизонтальном ряду, или периоде, таблицы Менделеева находятся два элемента — водород и гелий; во втором периоде — восемь элементов и столько же в третьем; затем восемнадцать элементов составляют четвертый период и еще восемнадцать — пятый.

В шестом периоде имеется восемнадцать элементов плюс четырнадцать лантанидов — итого тридцать два элемента. В современной периодической таблице есть седьмой период, который теоретически имеет места для восемнадцати элементов плюс четырнадцать актинидов, хотя, если ориентироваться на таблицу 1925 г., эта часть ее должна была бы выглядеть по-иному.

Если мы рассмотрим вертикальные колонки вместо горизонтальных рядов, то обнаружим в них элементы с одинаковыми химическими свойствами, расположенные один под другим. Группа I, например, включает водород и *щелочные элементы*, такие, как литий и натрий. Группа III включает скандий, иттрий и все лантанидные и актинидные элементы.

Крайняя справа группа — это *благородные газы*. Перед ней расположена группа *галогенов* (*соль рождающих* элементов), подобных фтору и хлору, каждый из которых имеет одно свободное место на своей внешней электронной оболочке.

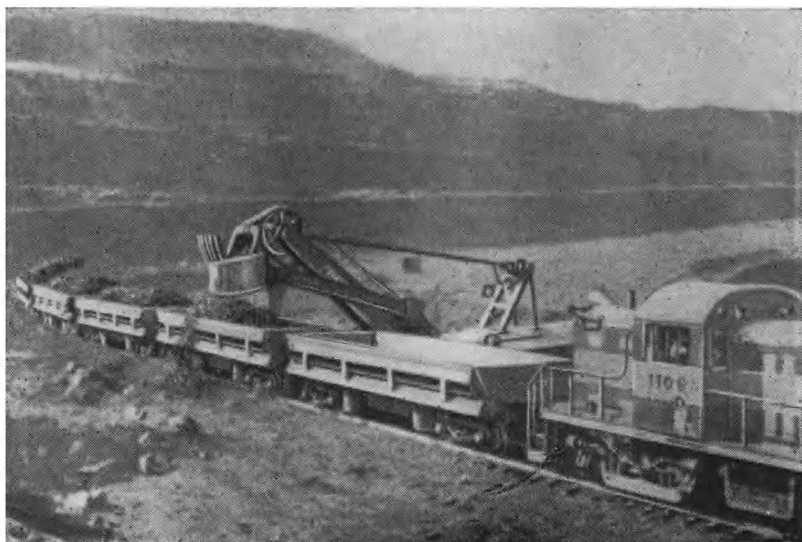
Переработка элементов

Восемьдесят восемь элементов, известных человеку к 1925 г., существуют в природе; все они были найдены в земле, воде или воздухе.

В своей естественной, неочищенной форме они представляют собой не что иное, как обычные минералы, руды или распыленную породу, которую мы называем почвой или песком.

И из этой земли, доставляемой в железнодорожных вагонах, человек научился извлекать материалы, из которых создаются суда и небоскребы, радиоприборы и искусственные спутники.

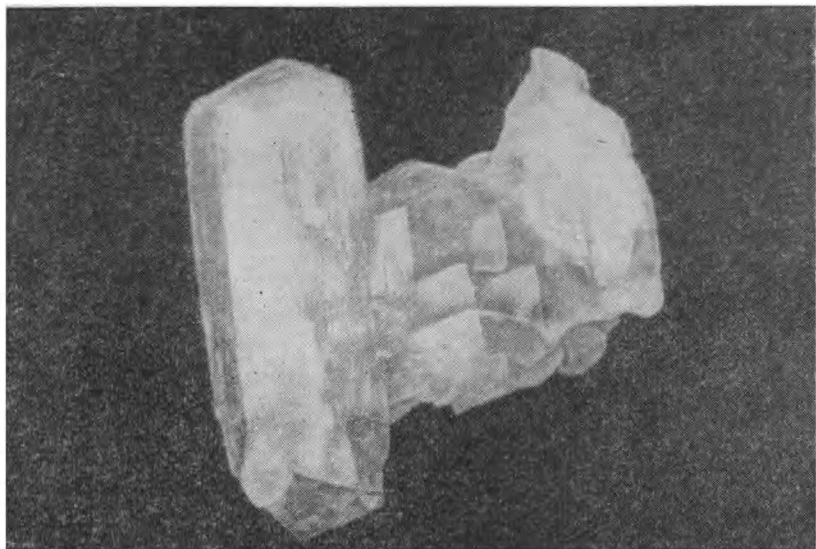
Извлечение нужных нам элементов и их переработка — это и есть задача промышленности как древней, так и современной. Мы можем выделить три обширных категории элементов, в зависимости от того, как решается эта задача на практике: 1) элементы, существующие в природе в свободном виде; 2) эле-



менты, извлекаемые из руд, и, наконец, 3) элементы, которые находятся в природе в каких-то комбинациях и в таком виде используются или же перерабатываются без расчленения на отдельные элементы.

В числе элементов, обнаруженных в природе в свободном состоянии — углерод, сера, кислород, азот и вся группа инертных газов: гелий, неон, аргон, криптон, ксенон и радон.

Все эти инертные газы, конечно, находятся в одной вертикальной колонке периодической таблицы, что указывает на сходство их химических свойств. В данном случае это сходство проявляется в способности существовать в природе в свободной форме. Другим примером элементов с одинаковыми свойствами могут служить медь, серебро и золото, также расположенные в одной и той же колонке. Все они иногда встречаются в при-



роде в самородном состоянии. Сера (верхний рисунок) тоже может находиться в природе в форме больших кристаллов.

Многие из этих «свободных» элементов встречаются в виде смесей и сравнительно легко отделяются один от другого. Как нам известно, смесь

железа и серы можно разделить просто магнитом.

Одна из наиболее ярких глав в истории Америки связана с тем, что золото встречается в природе в виде смеси с кварцевым песком и может быть отделено с помощью



очень простого приспособления, а именно жестяного лотка или таза.

Так как золото тяжелее песка, оно при промывке слоя песка в плоском тазу струей воды оседает на дно. Когда песок и вода аккуратно сливаются,

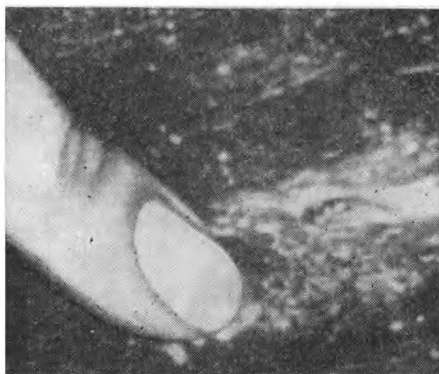
на дне остаются относительно чистые крупинки золота.

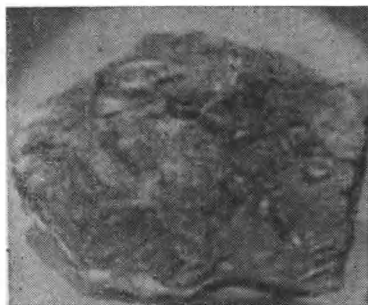
Наиболее распространенной смесью химически свободных элементов является воздух, который примерно на четыре пятых состоит из азота, на одну пятую из кислорода и, кроме того, содержит небольшую примесь инертных газов. Мы уже видели, что эти элементы можно разделить перегонкой жидкого воздуха, потому что все они имеют различные температуры кипения. Азот из жидкого воздуха будет испаряться первым.

Большинство элементов, встречающихся на земле, находится в виде химических соединений — руд.

Руды часто содержат кислород (как, например, боксит) или серу (например, киноварь, аргентит, галенит). Молекула киновари (HgS) состоит из 1 атома ртути и 1 атома серы, аргентита (Ag_2S) — из 2 атомов серебра и 1 атома серы. Галенит (PbS) — это сульфид свинца.

Примером руды, из которой можно легко извлечь металл, может служить окись ртути (HgO). Для этого





ее достаточно нагреть в простой перегонной колбе, как показано на рисунке на стр. 22. Тепло позволяет отделить атом ртути от атома кислорода в каждой молекуле окиси ртути; одиночные атомы ртути, собравшиеся вместе, образуют ртуть, а атомы кислорода будут соединяться парами и выделяться в виде молекул газообразного кислорода.

Несколько труднее восстановить свинец из руды — окиси свинца (PbO), так как атом кислорода, находящийся в ней, неохотно отрывается от атома свинца. Эта трудность преодолевается путем нагревания окиси свинца на графитовой пластинке, как это описано

на стр. 51. Графит, представляющий собой углерод в чистом виде, поставляет атомы углерода для химической реакции.

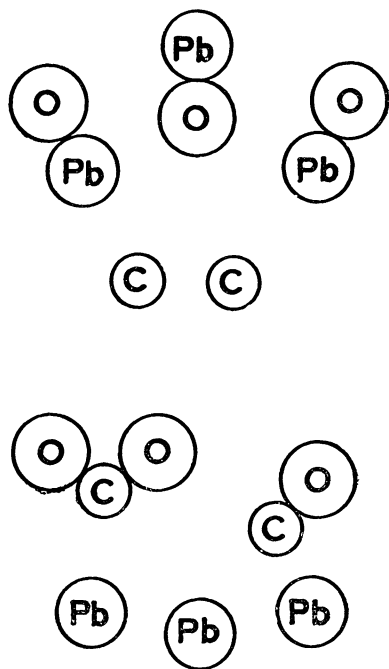
Углерод сильнее, чем свинец, притягивает к себе кислород, и поэтому он стремится «украсть» атомы кислорода у свинца.

Когда окись свинца нагревается на графитовой пластинке, каждый атом углерода соединяется с одним атомом кислорода, образуя окись углерода, или же соединяется с двумя атомами кислорода, образуя двуокись углерода (углекислый газ). Оба этих газа выделяются, оставляя на пластинке чистый свинец.

Аналогичный процесс, но протекающий гораздо сложнее, позволяет получить железо, самый дешевый и наиболее распространенный элемент среди тяжелых металлов.

Значение железа для человечества основано на ряде его замечательных свойств. Например, оно может делаться твердым при быстром охлаждении или гибким при медленном охлаждении. Хрупкость твердой стали можно устранить путем отжига, который заключается в очень осторожном повторном нагревании.

Элементарное железо чрезвычайно трудно выделить, потому что оно очень прочно соединено с кислородом. Поэтому-то железные инструменты легко ржавеют, образуя окись железа. Неудивительно, что самые богатые железные руды представляют собой окиси, такие, как гематит (Fe_2O_3) с двумя атомами железа и тремя



атомами кислорода на каждую молекулу или магнетит (Fe_3O_4).

Сильное сродство к кислороду приводит к тому, что восстановить железо из его руды гораздо труднее, чем свинец.

Железная руда, которая содержит наряду с соединениями железа и нежелательные минералы, обычно очищается в доменной печи — грубо, но очень эффективно.

Доменная печь представляет собой огромную, около тридцати метров высотой, колонну, расширяющуюся книзу. Эта печь заполняется смесью железной руды, углерода (в виде кокса) и известняка.

Горение кокса поддерживается путем вдувания горячего воздуха, поступающего через боковые отверстия в печи.

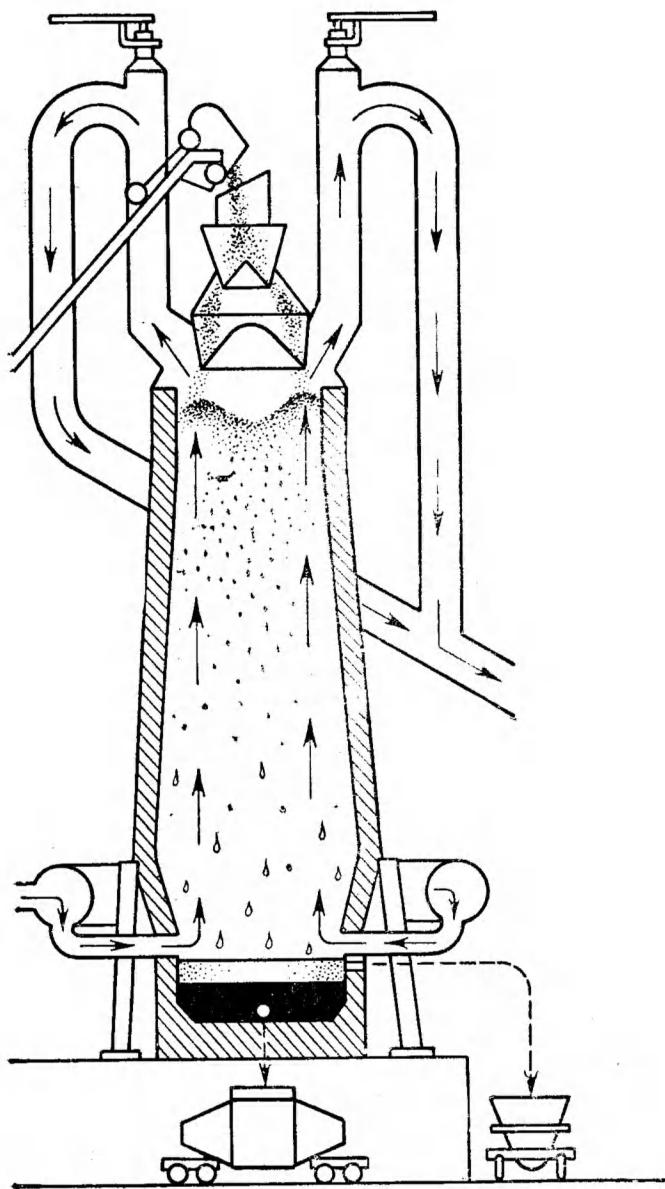
В верхней части печи окись углерода соединяется с кислородом окиси железа, освобождая чистое железо.

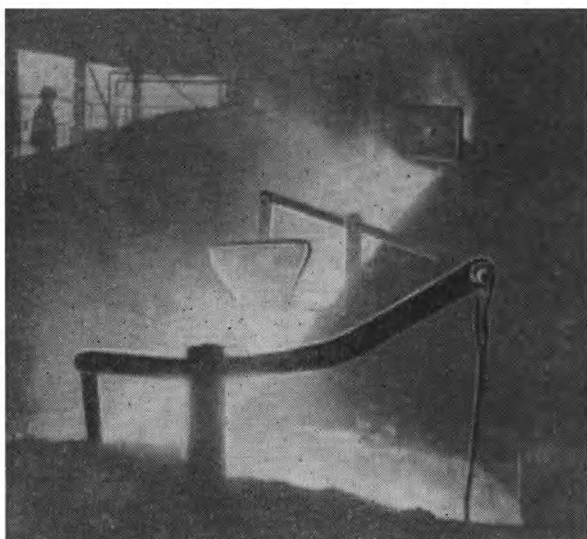
Известь (CaO), получающаяся в печи из известняка, соединяется с оставшимися минералами руды и с золой сгоревшего кокса, образуя расплавленный шлак, который может быть удален через специальные отверстия.

В то же время расплавленное железо, насыщенное углеродом, собирается на самом дне печи, под более легким шлаком.

Осевшее железо в виде жидкого чугуна содержит почти четыре процента углерода.

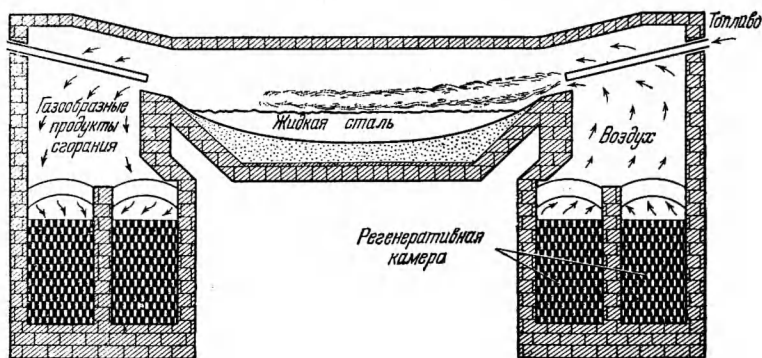
Химическая реакция в этом случае подобна реакции углерода с окисью свинца. Окись углерода отбирает





у окиси железа атомы кислорода, образуя двуокись углерода и свободное железо.

Чугун, полученный в доменной печи, может быть затем очищен различными способами. Для такой очистки используется, например, мартеновская печь, которая понижает количество углерода с четырех процентов приблизительно до половины процента. Этот процесс



осуществляется с помощью пламени, проходящего через расплавленный чугун в неглубоком резервуаре.

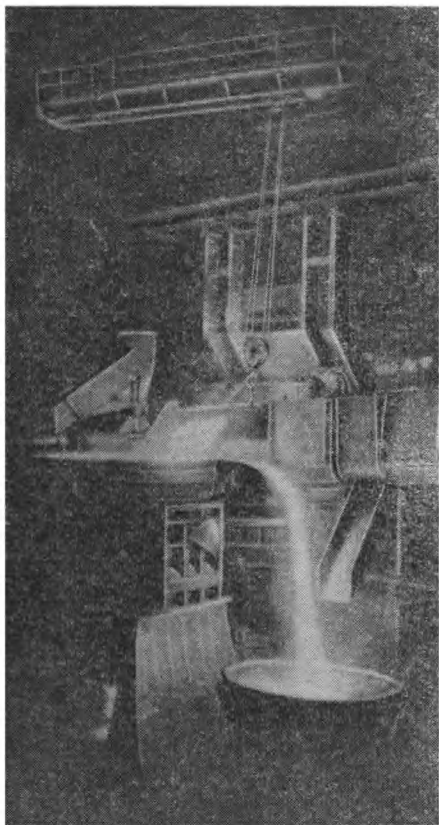
Продукт, полученный в мартеновской печи, называется сталью, или мартеновской сталью. На этой фотографии расплавленная сталь вытекает из 275-тонной печи.

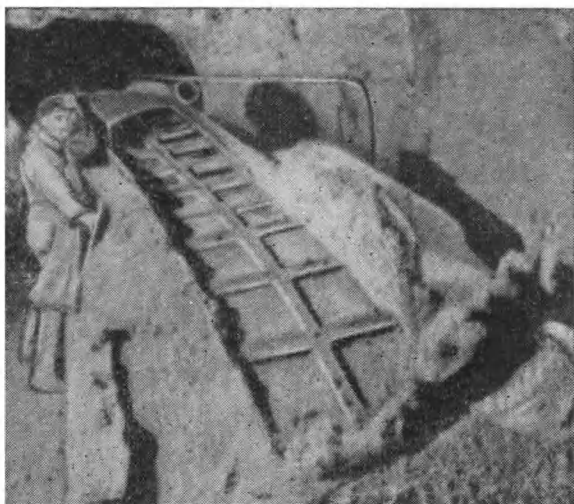
Различные количества углерода в стали приводят к широкому разнообразию ее свойств.

Например, мягкая сталь имеет очень низкое содержание углерода и поэтому хорошо куется. Чугун, наоборот, содержит много углерода; это делает его настолько хрупким, что он может от удара молотка разбиться вдребезги.

Сталь в дальнейшем может быть улучшена путем добавления других элементов, т. е.

путем производства сплавов. Никель и хром используются для получения нержавеющей стали. Молибден, ванадий, вольфрам, кобальт, титан и другие элементы добавляются в сталь для улучшения ее твердости, прочности или магнитных свойств.





Некоторые руды еще более неохотно, чем железо, превращаются в металлы. Примером может служить окись алюминия — боксит (Al_2O_3).

В этом случае мы не можем получить алюминий только простым нагреванием. Приходится идти дальше.

Необходимо подвергнуть руду электролизу, т. е. пропустить через расплавленную руду, к которой прибавлены некоторые другие материалы, электрический ток.

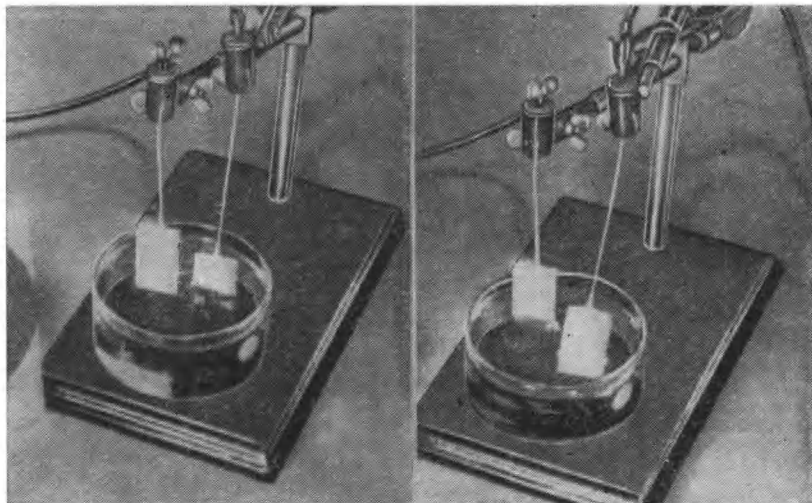
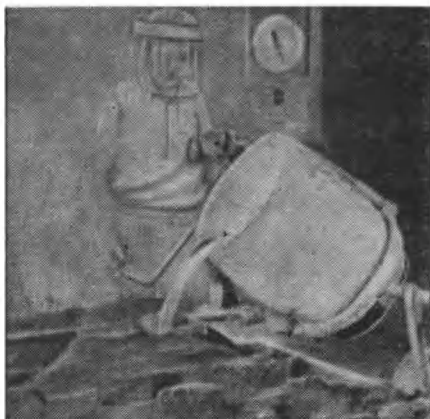
Электрический ток проходит между угольным анодом и чугунной пластинкой. Протекая через расплавленную руду, ток заставляет кислород окиси алюминия соединяться с углеродом анода, а оставшийся металлический алюминий собирается на чугунной пластинке.

Образующийся алюминий можно использовать либо в чистом виде, либо в сплавах с другими эле-

ментами, такими, как магний, медь или марганец.

Электролиз боксита — очень сложный процесс, но основные его принципы можно проиллюстрировать на примере меди, которую получить гораздо легче, чем алюминий.

Нам нужен раствор сульфата меди и два электрода, соединенных с источником электрического тока. Один электрод — анод, или положительный полюс, представляет собой пластинку из меди или другого металла, покрытого медью.



Электрический ток заставляет медь с анода, находящегося справа, переходить в раствор, в то время как медь из раствора осаждается на катоде — в данном случае платиновой пластинке, расположенной слева. Таким образом неочищенная медь с анода переносится уже в чистом виде на платиновый катод, подобно тому, как алюминий осаждается на чугунном катоде. То же самое имеет место в гальванопластике, где тонкая пленка одного металла осаждается на другом металле.

Различные элементы неравномерно распределены в земной коре. Это распределение оказало заметное влияние на историю человечества и определило размещение промышленных центров во всем мире.

Очистка руд типа алюминиевых требует большого количества электроэнергии, поэтому вблизи источников руды строятся электростанции.

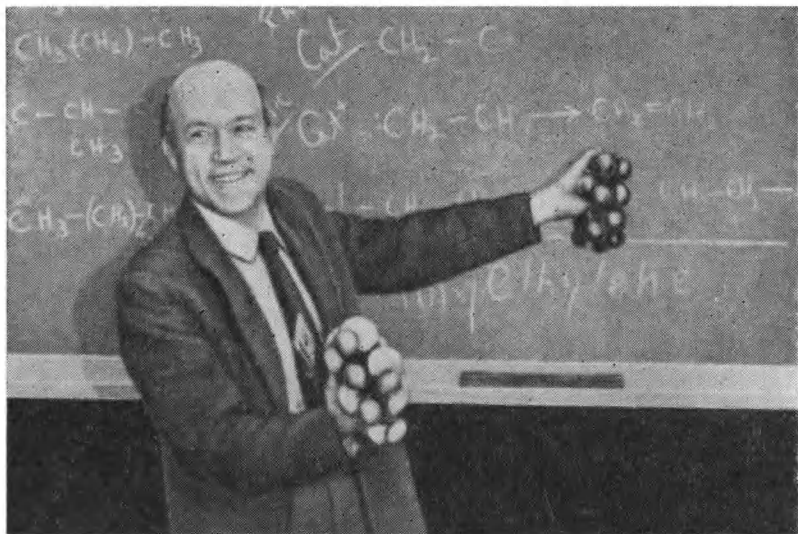
Доменные же печи воздвигались около месторождений железных руд и снабжались углем из ближайших лесов. Но в настоящее время массовое производство железа и стали требует огромных количеств кокса, поэтому именно руда обычно подвозится к углю. Например, в Северной Америке железная руда из штата Мичиган перевозится в восточные угольные районы. Постоянно открываются новые маршруты, и теперь руда из Лабрадора начинает транспортироваться к доменным печам по реке Святого Лаврентия.

Питсбург, подобно Эссену и Ньюкаслу, стал величайшим индустриальным центром благодаря богатым угольным месторождениям. Так случайное распределение элементов на Земле, происходившее миллионы и даже миллиарды лет назад, отражается сегодня на наших картах и в книгах по истории.

Третья обширная категория элементов, как мы уже говорили, охватывает те элементы, которые существуют в природе в виде каких-то комбинаций и для использования которых необходимо лишь перестроить их, не переводя в элементарную форму.

Ярким примером этого метода переработки элементов служит органическая химия — химия соединений углерода — и особенно та ее область, которая связана с получением различных веществ из нефти.

О химии нефти расскажет здесь М. Кельвин, профессор химии и сотрудник Радиационной лаборатории Калифорнийского университета в Беркли, один из самых



выдающихся в мире химиков-органиков. Доктор Кельвин руководит отделом биоорганической химии в Радиационной лаборатории и хорошо известен своими плодотворными исследованиями в области химии фотосинтеза.

Органические соединения

Наша задача состоит в том, чтобы рассказать, каким образом элементы, встречающиеся в природе в виде соединений, используются без превращения их в элементарную форму.

Мы рассмотрим главным образом углерод, который находится в природе в форме угля или нефти.

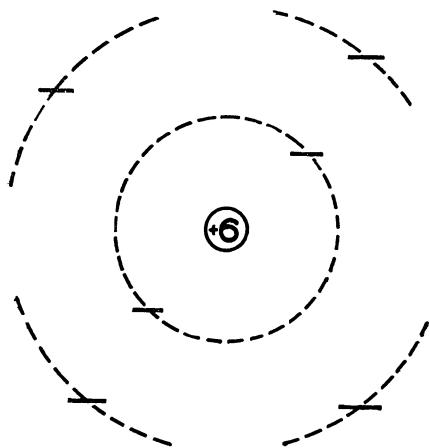
Уголь состоит в основном из углерода.

Нефть же является смесью соединений, состоящих преимущественно из углерода и водорода. Сырая нефть, выходящая из земли,— это черная и довольно зловонная жидкость.

Хотя сырая нефть и может быть использована непосредственно в качестве дизельного топлива, она все же чаще перерабатывается различными способами с целью получения многочисленных продуктов.

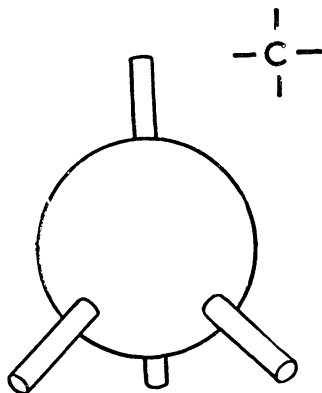
Чтобы дать некоторое представление о том, как это может быть сделано, необходимо рассказать в двух словах о характере молекул, из которых состоит

сырая нефть. Поскольку главным элементом этой смеси является углерод, стоит взглянуть на модель атома углерода. Он имеет ядро с шестью положительными зарядами, два внутренних электрона и четыре электрона на внешней оболочке.



Эти четыре внешних электрона находятся на оболочке, которая может содержать восемь электронов, как это имеет место у неона. Следовательно, эти четыре электрона позволяют атому углерода соединяться с четырьмя другими атомами.

Химики-органики обычно пользуются простой моделью атома углерода — в виде шара с четырьмя маленькими палочками, изображающими четыре электрона, с помощью которых атом углерода может соединяться с атомами других элементов или с другими атомами углерода. Эти атомы отдают свои электроны, и в результате возникают связи, каждая из которых состоит из двух электронов.



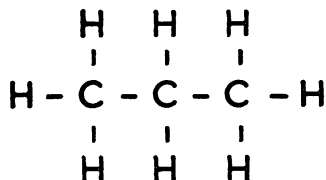
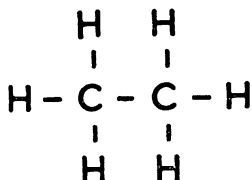
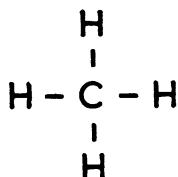
Атом углерода может быть также изображен двумерным, плоским — в виде латинской буквы С и четырех коротких линий.

По своим химическим свойствам углерод, имеющий четыре избыточных электрона, отчасти напоминает металл, но вместе с тем он похож и на галоген, потому что у него имеются четыре свободных места на внешней оболочке. В периодической таблице углерод лежит посередине между металлом литием и галогеном фтором.

Такое уникальное свойство углерода приводит к тому, что его атом может легко соединяться с другими атомами бесчисленным множеством самых разнообразных способов. Углерод входит в состав

приблизительно 500 000 известных соединений и является главной составной частью всех живых организмов.

Многие тысячи соединений углерода состоят только из двух элементов: углерода и водорода. С эти-



ми соединениями — углеводородами — связана жизнь растений и животных, и поэтому их изучение составляет раздел *органической химии*. Так как нефть образовалась из древних живых организмов, не приходится удивляться, что она особенно богата углеводородами.

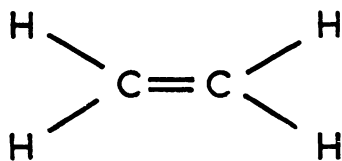
Если четыре палочки нашей модели атома углерода соединить с атомами водорода, то мы получим молекулу метана (CH_4), или болотного газа, — главной составной части природного газа.

Если же присоединить к углероду не четыре, а только три атома водорода, и к оставшейся незанятой связи присоединить такой же атом углерода с тремя атомами водорода, то мы получим более сложную молекулу в этом ряду — этан (C_2H_6). За ним следует пропан (C_3H_8), и вы уже, вероятно, поняли, что этот процесс можно продолжать и дальше, получая очень длинные углеродные цепи.

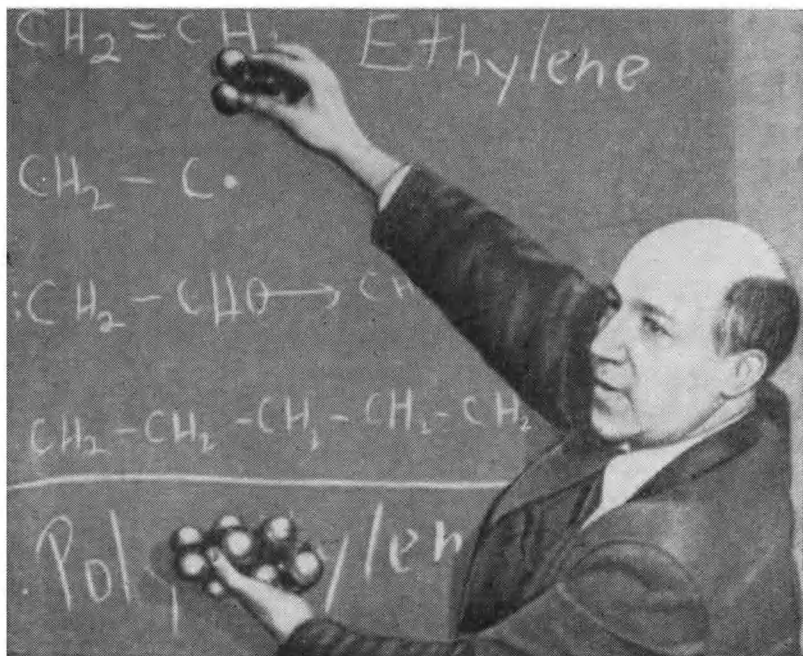
Этилен (C_2H_4) — характерный представитель другого ряда углеводородов. В этом ряду всегда имеется

двойная связь между парой атомов углерода. Двойная связь означает, что каждый атом отдает по два электрона для связи и, следовательно, в данном случае 4 электрона включаются в связь между двумя атомами. Эта двойная связь сильнее одинарной.

В других углеводородах атомы углерода могут соединяться или при помощи тройных связей, как, например, в ацетилене (C_2H_2), или в виде колец.

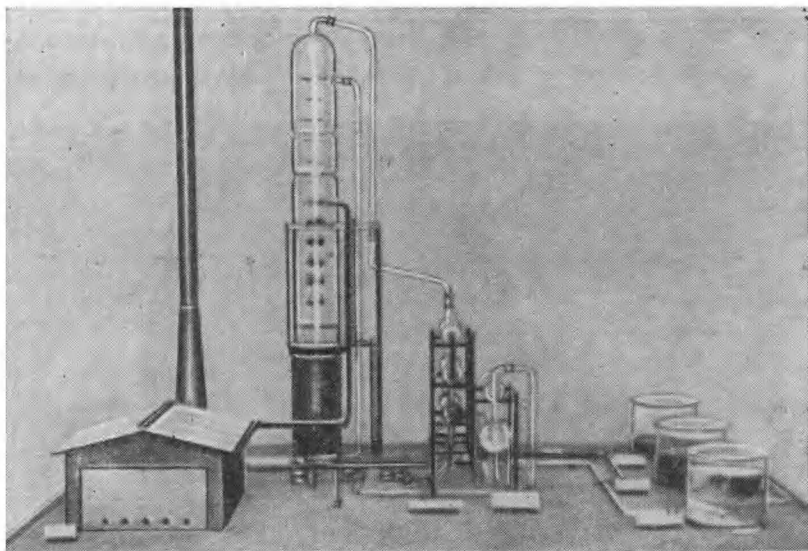


Сырая нефть состоит из смеси большого числа такого сорта молекул, содержащих от шести до нескольких сотен атомов углерода. Для того чтобы эти соедине-



ния можно было использовать, необходимо отделить различные молекулы друг от друга. Это наиболее легко достигается при помощи процесса перегонки (дистилляции).

Сырая нефть нагревается на дне колонны, похожей на башню. В то время как летучие фракции нефти, способные испаряться, проходят через колонну, более тяжелые молекулы, например смазочные масла, оседают на дно. Над ними конденсируются более легкие молекулы, такие, как керосин, а самый легкий из всех — бензин конденсируется на самом верху и первым удаляется из колонны.



Таким способом можно разделить нефть на целую серию фракций, число которых зависит от того, насколько легко различные молекулы испаряются из нагретой нефти.

Более легкие фракции — керосин и бензин — успешно применяются в качестве топлива. Тяжелые же фракции не всегда могут быть использованы в таком виде (если не считать смазок и масел), но мы можем перестроить атомы в этих тяжелых молекулах с тем, чтобы сделать из них более полезные продукты.

Для этого тяжелые молекулы нагреваются под давлением в специальных печах и разрушаются — разбиваются на более мелкие части. Затем эти «осколки» можно разделить на колонне и получить относительно чистые фракции различных молекул.

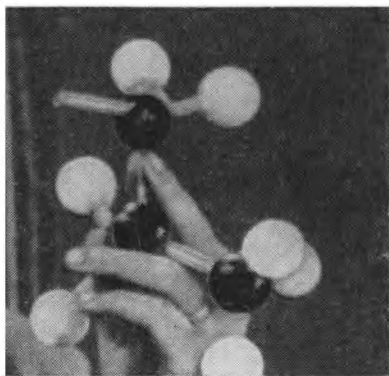
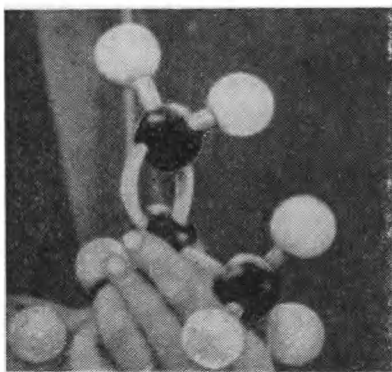
Получающиеся в результате молекулы-осколки содержат по четыре атома углерода; одно из этих соединений называется изобутаном, другое — изобутиленом.

Различие между ними заключается в том, что изобутилен имеет двойную связь: два атома углерода соединены друг с другом двумя связями, а не одной.

Эта двойная связь очень сильно напряжена; она стремится при первом же удобном случае разорваться и присоединить другие атомы. С помощью катализатора можно разорвать эту связь и присоединить молекулу изобутана. Получающаяся в результате молекула октана содержит восемь атомов углерода.

Собственно, в данном случае образуется изооктан, основная составная часть того, что мы называем высокооктановым бензином.

Другой способ перегруппировки осколков больших молекул также основан на способности двойной связи легко разрываться.



Используя иной катализатор, можно разорвать двойную связь и позволить ей присоединить молекулу того же сорта, в которой двойная связь также будет открыта. Эта пара молекул может соединиться с третьей подобной молекулой, затем с четвертой, пятой и т. д.

Такие молекулы могут быть очень большими; они называются *полимерами*, потому что получаются в процессе *полимеризации* простых молекул, содержащих одну двойную связь.

Полимеризация просто означает соединение двух или большего числа молекул одного и того же сорта в большие молекулы, причем новые соединения обладают уже иными физическими свойствами.

Примерами хорошо известных продуктов, получаемых при помощи такого процесса, могут служить полиэтилен и полистирол. Первый из них получается из соединений, молекулы которых состоят из двух атомов углерода, соединенных двойной связью. У второго молекулы очень похожи на молекулы этилена, но к каждой из них присоединено большое кольцо из шести атомов углерода.

Помимо разнообразных видов топлива и строительных материалов из продуктов каменноугольного дегтя и нефти производятся лекарства, например сульфаниламид.



Таким образом, при помощи дистилляции, крекинга (процесс разрыва молекул) и перегруппировки молекул сырой нефти человек научился производить из природных соединений, извлекаемых из недр Земли, огромное множество полезных продуктов. (Мелвин Кельвин.)

АТОМНОЕ ЯДРО

Сжигание сахара, извлечение металла из руды, крекинг нефти — все это примеры химических реакций.

Химическая реакция — скажем, горение — приводит к перегруппировке атомов, а также к обмену энергией или же к выделению энергии, связанному именно с этой перегруппировкой.

По-иному обстоит дело в ядерных реакциях.

При ядерной реакции происходит перестройка внутри-атомных частиц — тех, что находятся в атомном ядре, причем этот процесс сопровождается обменом или высвобождением энергии, заключенной внутри самого ядра. А так как каждому данному элементу соответствует определенное число протонов и нейтронов в его ядре, то изменение их количества приводит к превращению этого элемента либо в иной изотоп, либо даже в совершенно иной элемент.

Более 99,9% веса атома сосредоточено в его невероятно маленьком ядре, которое, таким образом, представляет собой чрезвычайно тяжелую крупницу материи. Если бы весь объем атома имел ту же плотность, что и ядро, то футбольный мяч, сделанный из таких атомов, весил бы несколько миллиардов тонн.

Ядро протона или нейтрона обладает, вероятно, еще более высокой плотностью, чем атомное ядро.

Нетрудно представить себе, что для скрепления этих частиц, столь тесно упакованных в ядре, требуется огромная энергия.

Хотя нами пока что не изучены эти ядерные силы, мы все же имеем представление о количестве энергии, связанной с ними. Известно, что, например, высвобождение небольшой части этой энергии из некоторых типов атомов лежит в основе действия водородной бомбы и ядерного реактора.

Нам также известно, что для проникновения заряженной частицы внутрь плотного и прочно связанного ядра необходимо, чтобы эта частица обладала большой энергией.

Именно эта потребность в частицах высоких энергий, в сочетании со страстным стремлением ученых исследовать атомное ядро, привела к изобретению циклотрона и других грандиозных ускорителей частиц.

Высоко в холмах Беркли, с которых открывается вид на бухту Сан-Франциско, расположена Радиационная лаборатория Калифорнийского университета.

Здесь находятся инструменты современной алхимии, при помощи которых человек осуществляет на практике мечты древних алхимиков — превращение одних элементов в другие.

Эти инструменты помогли нам сделать еще один шаг на пути формирования совершенно новых видов вещества: создание элементов, которые не встречаются на Земле.

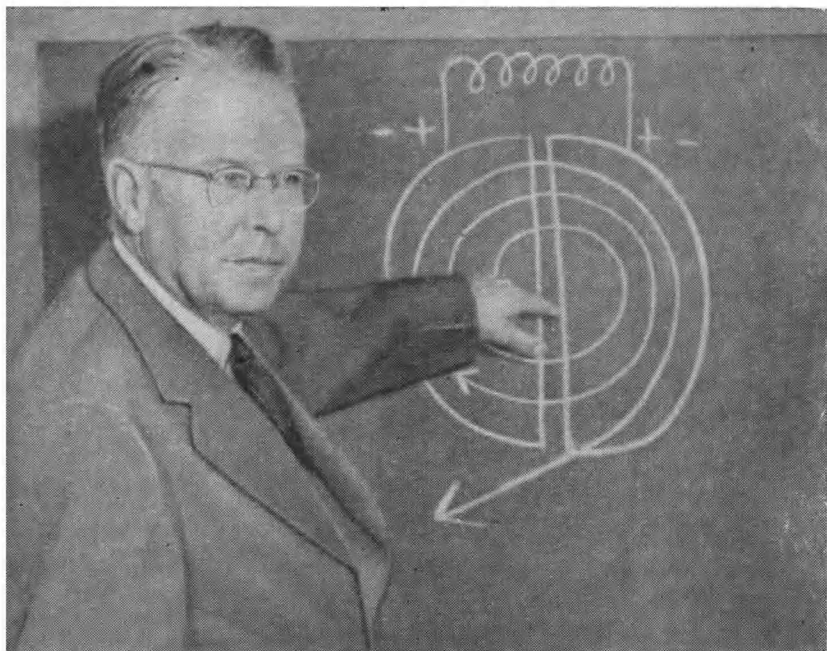
Радиационная лаборатория в Беркли, в которой получено или распознано большинство искусственных



элементов, является одной из лабораторий, предназначенных для этой новой фазы отношений человека и природы.

Ведущее место среди инструментов Радиационной лаборатории занимают ускорители частиц, в частности бэватрон, который можно видеть на переднем плане фотографии, и 184-дюймовый циклотрон (над ним). На этих установках ведутся фундаментальные исследования.

Циклотрон — это машина для раскалывания атомов. Именно с его помощью были созданы практически все искусственные элементы.



Об истории и принципах работы циклотрона мы попросили рассказать Эрнеста Лоуренса, который был основателем Радиационной лаборатории в Беркли и в течение 22 лет занимал пост одного из ее директоров. Д-р Лоуренс изобрел циклотрон, за что был удостоен в 1939 г. Нобелевской премии по физике *).

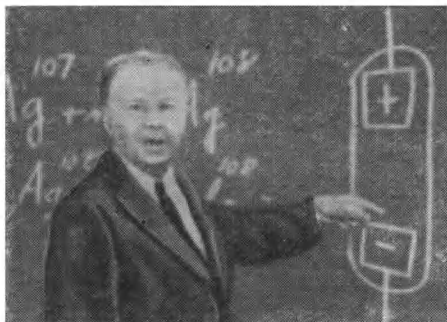
Как сделать циклотрон

Более 35 лет назад лорд Резерфорд открыл, что азот может быть превращен в кислород путем бомбардировки его быстро летящими ядрами гелия — альфа-частицами, испускаемыми радием.

*) Э. Лоуренс умер в 1958 г. (Прим. перев.)

С этого момента ученые начали искать пути ускорения различных атомных частиц до очень высоких скоростей, чтобы с их помощью исследовать ядра.

Первыми ускорителями частиц, созданными в двадцатые годы, были просто высоковольтные разрядные трубки, в которых создавался глубокий вакуум.



Предположим, что мы имеем вакуумную трубку с двумя электродами, один из которых находится под положительным, а второй под отрицательным потенциалом, скажем, в миллион вольт.

Вблизи положительного электрода образуются положительные частицы, например альфа-частицы.

Они вынуждены как бы катиться по наклонной плоскости к отрицательному электроду, приобретая кинетическую энергию и вызывая ядерные эффекты и излучение, испускаемое отрицательным электродом, когда частицы ударяют в него.

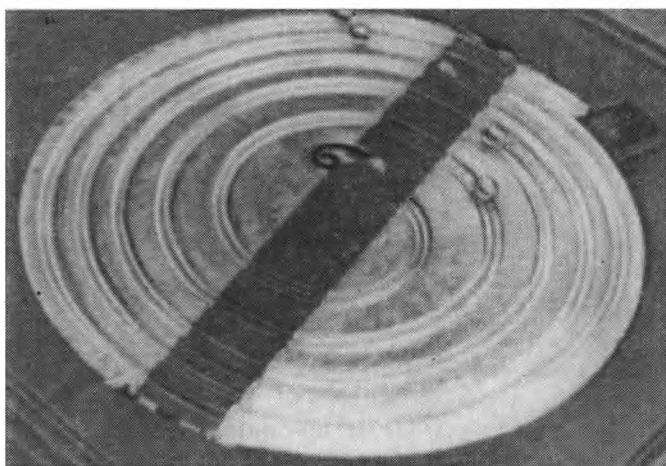
В то время было установлено, что такой ускоритель, видимо, способен разгонять частицы разностью потенциалов лишь до одного-двух миллионов вольт. Так что возникла необходимость в создании новых средств, которые позволили бы достигнуть значительно больших

энергий — в десятки или сотни миллионов электрон-вольт *).

Каждому ребенку известно, что большой скорости качания на качелях можно добиться двумя способами: либо одним сильным рывком — именно так обстоит дело в высоковольтном ускорителе, — либо серией небольших толчков, постепенным раскачиванием.

Циклотрон, изобретенный в 1929 г., использует этот второй принцип. Он дает частице серию последовательных толчков во время ее движения.

Д-р Уорд из Лондонского научного музея придумал механическую модель циклотрона, которая может оказаться полезной для понимания принципа его работы. На фотографии — копия этой модели.

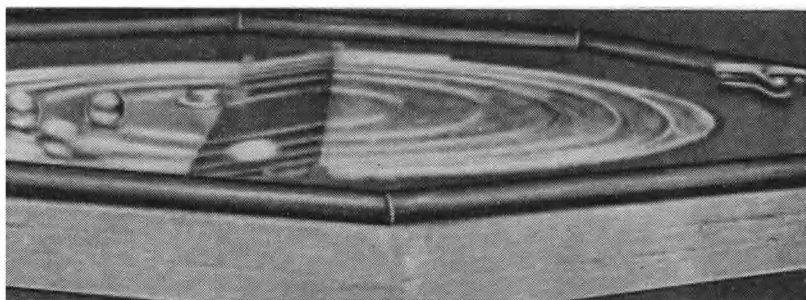
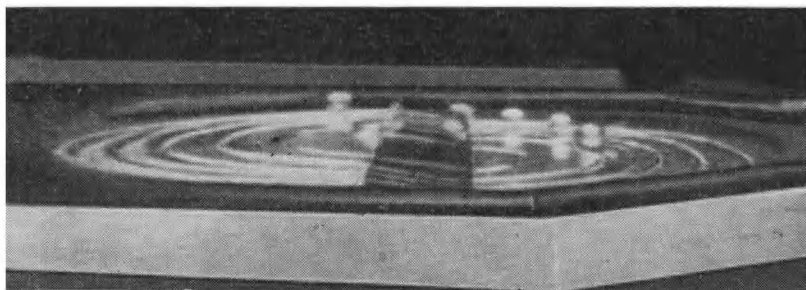


В вакуумной камере циклотрона расположены два полукруглых электрода, или дуанта, которые находятся под

*) Электрон-вольт (эв) — единица энергии, применяемая в атомной и ядерной физике и равная энергии, которую приобретает электрон при прохождении ускоряющей разности потенциалов в 1 вольт. (Прим. перев.)

потенциалами противоположного знака; потенциал их то повышается, то падает.

На механической модели две пластины тоже перемещаются то вверх, то вниз. Ускорение шариков здесь происходит за счет гравитационного поля (силы тяжести), тогда как в настоящем ускорителе частицы ускоряются разностью электрических потенциалов.



Кроме того, на модели шарики катятся по желобам, а в реальном циклотроне магнитное поле заставляет частицы двигаться по круговым траекториям.

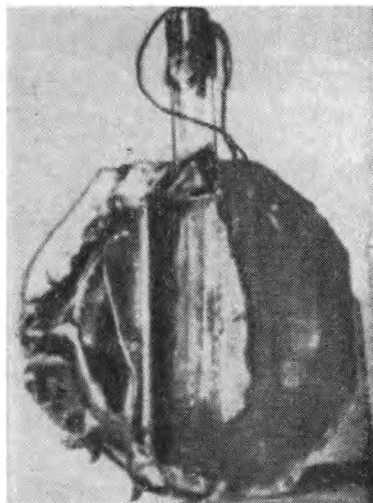
Частицы появляются в центре модели и ускоряются, «падая» вниз, в один из дуантов. Когда они переходят во второй дуант, они вновь скатываются, испытывая при этом дополнительный толчок.

Эти два дуанта всегда находятся в противоположных положениях — один выше, другой ниже, так что частицы всегда «падают», проходя участок между ними. Поэтому каждая частица многократно приобретает дополнительные порции энергии и движется по все большим окружностям до тех пор, пока не ударится о мишень. Именно в этой мишени и происходят ядерные процессы, которые мы желаем исследовать.

В реальном циклотроне частицы движутся по круговым траекториям под действием большого магнита, а «подъем» и «опускание» обеспечиваются переменным электрическим полем, напряжение которого постепенно нарастает и затем скачком меняется на противоположное; частота этих перемен зависит от движения частиц по круговым траекториям и лежит в области радиочастот.

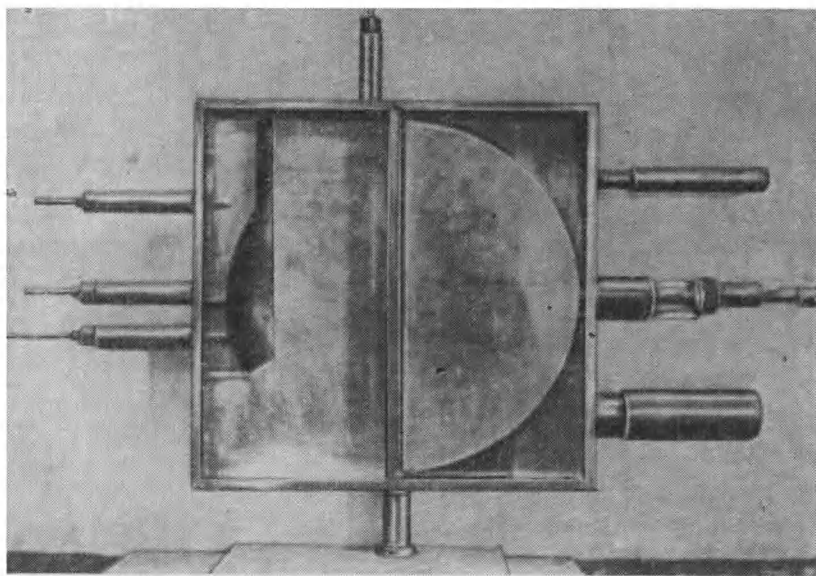
Частицы совершают сотни оборотов и в результате приобретают энергию, в сотни раз превышающую ту энергию, которая соответствует максимальному ускоряющему напряжению в камере циклотрона при прохождении какой-либо одной круговой траектории.

Здесь изображен (без магнита) наш первый образец циклотрона, построенный в 1930 году. Это было весьма скромное «сооружение», и мы, конечно, храним его как



реликвию. Два электрода были герметизированы воском, и их нужно было поместить между полюсами магнита. Потом мы построили улучшенную модель приблизительно того же размера — около двадцати сантиметров, — которая работала прекрасно.

Затем последовала 28-сантиметровая машина, которая давала протоны с энергией в 1 млн. эв, и они действительно использовались в некоторых ядерных экспериментах. В самом деле, первое расщепление



ядра, выполненное на циклотроне, было произведено при помощи именно этой 28-сантиметровой машины.

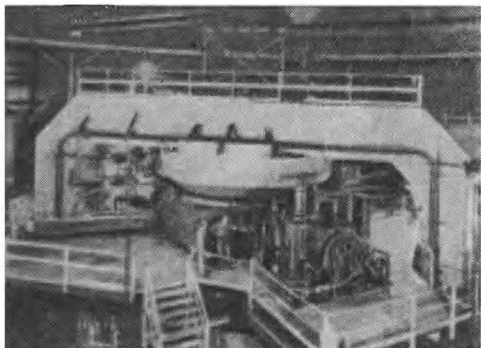
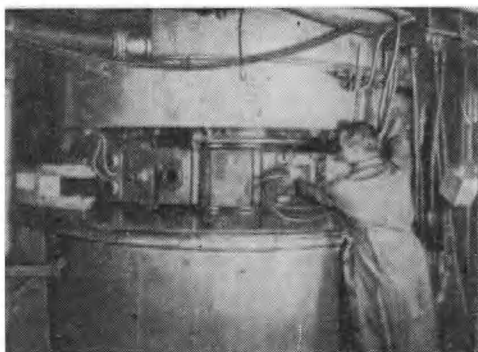
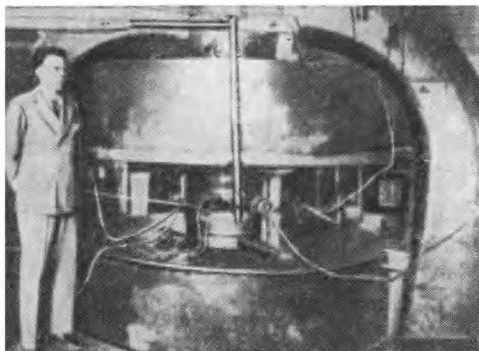
Следующим образцом явился 70-сантиметровый циклотрон, изображенный на рисунке, и затем — 95-сантиметровый. Первый из них производил ча-

стицы с энергией в 4—5 млн. эв, и на нем было получено множество новых радиоактивных изотопов.

После этого был построен 150-сантиметровый циклотрон (среднее фото), который используется и по сей день. Он дает альфа-частицы с энергией 50 млн. эв.

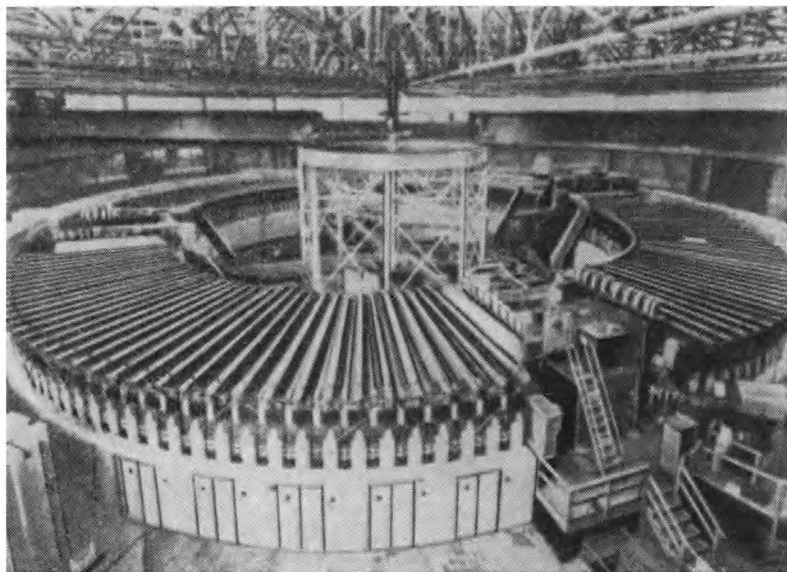
Наконец, имеется 480-сантиметровый синхроциклотрон, который был реконструирован в 1957 г. и теперь ускоряет частицы до энергии 720 млн. эв. На этой установке весом в 400 тонн ведутся и будут проводиться еще в течение многих лет важнейшие исследования.

Значительно большим по величине



не и мощности ускорителем является бэватрон. Это не циклотрон, но он имеет много общего с циклотроном.

Бэватрон был разработан Эдвином Макмилланом и получил свое название от выражения «бэв», так как он ускоряет атомные частицы до энергии 6,2 биллиона (миллиарда) электрон-вольт.



Бэватрон размещен в огромном круглом здании, и частицы движутся по круговым траекториям в похожем на велосипедный трек магните диаметром более 30 м. Это весьма внушительный скачок от первого 20-сантиметрового циклотрона, построенного менее чем за 25 лет до создания бэватрона.

Но это, как нам кажется, не предел. Еще больший ускоритель строится в Брукхейвене (Дальний Запад), и

я уверен, что в будущем ускорители позволят достигнуть области энергий в 100 миллиардов электрон-вольт. (Эрнест О. Лоуренс.)

Циклотрон стал основным инструментом для производства и открытия искусственных, создаваемых руками человека элементов. Однако в действительности история этих искусственно получаемых элементов началась еще в 1925 г., когда был открыт последний из 88 естественных элементов. В сущности, тогда-то и была полностью скомплектована периодическая таблица элементов в том виде, в каком она изображена на стр. 85.

Самым тяжелым естественным элементом является уран, имеющий атомный номер 92. Но в периодической таблице 1925 г. имелись пустые клетки, которые предназначались для четырех неоткрытых элементов. Эти недостающие элементы под номерами 43, 61, 85 и 87 известны теперь как технеций, прометий, астатин и франций. Некоторые из них, если судить по сообщениям, были открыты к 1937 г., но потом выяснилось, что эти «открытия» оказались ошибочными.

Все перечисленные элементы нестабильны. В период формирования Земли, несколько миллиардов лет назад, они, конечно, должны были существовать в природе. Однако с течением времени они исчезли в результате радиоактивного распада, который присущ атомам с нестабильными ядрами.

Такие нестабильные элементы могут быть получены искусственно, из более легких и более устойчивых элементов.

Что касается природы нестабильности, радиоактивности и превращения элементов, то этот вопрос может быть разъяснен лишь с точки зрения строения атомного ядра.

На стр. 27 мы видели, что ядро обычного атома водорода состоит из единственной частицы — протона, который мы изображали в виде кружочка со знаком $+$ внутри; это означает, что протон имеет единичный заряд положительного электричества.

Если к протону прибавить нейтрон, то мы получим атомное ядро изотопа водорода — дейтерия, или тяжелого водорода.

Добавление второго протона и второго нейтрона даст нам ядро атома гелия. Третий протон и третий или четвертый нейтрон позволят сформировать ядро лития. Добавляя таким образом новые протоны и нейтроны, можно постепенно строить ядра все более и более тяжелых элементов.

Ядро одного из изотопов серебра, к примеру, состоит из 47 протонов и 60 нейтронов.

Такое ядро, содержащее в себе в общей сложности 107 нейтронов и протонов, имеет атомный вес 107.

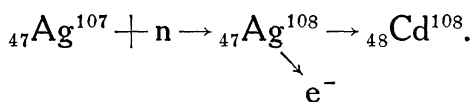
Мы можем обозначить это ядро серебра соответствующим химическим символом Ag с двумя числами: числом 47, указывающим его атомный номер (который является не чем иным, как количеством протонов в ядре), и числом 107, указывающим его атомный вес: ${}_{47}\text{Ag}^{107}$.

Если теперь мы будем обстреливать серебро нейтронами, то может случиться следующее: ядро серебра захватит нейтрон, который увеличит его атомный вес, т. е.

ядро нужно будет обозначить уже по-иному, а именно ${}_{47}\text{Ag}^{108}$.

Но этот более тяжелый изотоп серебра радиоактивен. Нейтрон в ядре самопроизвольно превращается в протон; при этом увеличивается на единицу положительный заряд ядра и испускается электрон — единичный отрицательный заряд.

Получив дополнительный протон, ядро приобретает новый атомный номер 48, т. е. становится ядром следующего, более тяжелого элемента — кадмия. В данном случае мы имеем изотоп — кадмий-108. Если обозначить нейтрон символом «n», а электрон — «e⁻», то превращение серебра в кадмий при помощи бомбардировки нейтронами можно записать следующим образом:



Этот эксперимент нетрудно осуществить в обычной лаборатории. Мы можем бомбардировать нейтронами серебряную монету, помещая ее в миниатюрную атомную пушку, в которой источником нейтронов служит смесь радия с бериллием.

Спустя несколько минут монета становится настолько радиоактивной, что излучение можно легко зарегистрировать счетчиком Гейгера. Эта радиоактивность является результатом самопроизволь-



ного превращения атомов серебра, облученных нейтронами, в атомы кадмия.

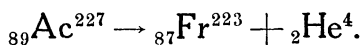
Как и при любой бомбардировке ядер, лишь мизерная доля атомов мишени претерпевает ядерное превращение.

Три из четырех элементов, отсутствовавших в периодической таблице в том ее виде, какой она имела в 1925 г., — технеций, прометий и астатин — были получены искусственно, путем превращений, аналогичных тем, которые позволяют преобразовать серебро в кадмий. Четвертый недостающий элемент был впервые открыт при редко наблюдающемся естественном альфа-распаде элемента актиния и назван францием.

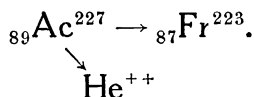
Альфа-распад — это тип радиоактивности, при котором происходит испускание альфа-частиц. Альфа-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов и, по существу, представляет собой лишь по-иному названное ядро атома гелия.

Актиний является одним из радиоактивных элементов. Он имеет атомный номер 89 и атомный вес 227. В редкой форме распада, обнаруженной в 1939 г. Маргаритой Пере, сотрудницей Института Кюри в Париже, актиний испускает альфа-частицы, теряя при этом два протона. В результате этого он превращается в новый элемент с атомным номером 87. Пере назвала этот элемент францием в честь своей родины.

Указанную реакцию можно, например, записать в следующем виде:



Другой способ записи той же реакции дает более явное указание на испускание альфа-частицы ядром актиния, а именно:



Итак, актиний, имеющий 89 протонов и атомный вес 227, превращается в франций, который содержит 87 протонов и имеет вес 223, теряя при этом альфа-частицу с двумя протонами и атомным весом 4.

Следовательно, франций, будучи продуктом радиоактивного распада, встречается в природе, но крайне редко. Дело в том, что наиболее долгоживущий изотоп франция имеет период полураспада всего лишь 21 минуту.

Период полураспада есть время, требующееся для того, чтобы половина атомов данного радиоактивного изотопа претерпела радиоактивное превращение.

Три других недостающих элемента были получены, как мы уже говорили, в качестве продуктов искусственных ядерных превращений либо в циклотроне, либо в атомном реакторе и были названы технецием, прометием и астатином.

Одна из наиболее трудных проблем, с которой приходится сталкиваться,— это идентификация элемента (т. е. установление того, что это и есть тот самый элемент, который нас интересует), коль скоро удалось произвести его. Элементы с атомными номерами 43, 61, 85 и 87 были идентифицированы методом, который мы называем *методом следов*. Это способ, применяемый для выделения и концентрирования элемента, присутствующего

щего в образце, в виде весьма малых примесей на носителях.

Например, мы можем иметь радий в невесомых количествах, слишком малых, чтобы его можно было разглядеть; собственно обнаружить радий в этом случае удастся лишь благодаря его радиоактивности. Однако радий может быть удален вместе с носителем из раствора одним из его химических «братьев», скажем, барием

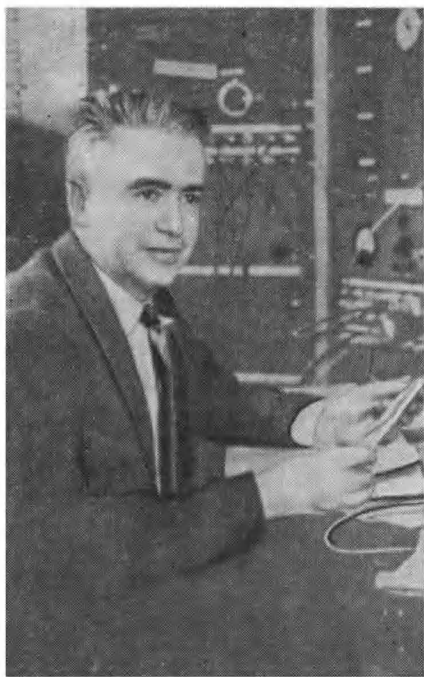
или стронцием, которые в периодической таблице расположены над радием.

Эти родственные носители удаляют следы радия из раствора вместе с собой. Аналогичный метод был применен для химической идентификации технеция, прометия, астатина и франция.

Первый искусственный элемент, который удалось получить и идентифицировать, был технеций, открытый Эмилио Сегре, яв-

ляющимся в настоящее время профессором физики Калифорнийского университета, и его коллегой Карло Перье.

Д-р Сегре следующим образом описывает это открытие.



Технеций — значит «искусственный»

Много лет назад, в 1936 г., когда я уже в течение нескольких лет имел дело с радиоактивностью, я приехал в Палермо из Рима, где мне довелось работать с Энрико Ферми.

В Палермо была небольшая и очень бедная лаборатория, ничем не напоминающая огромных лабораторий в окрестностях Беркли. Мне хотелось подобрать некоторые работы для выполнения в этой лаборатории. Летом 1936 г. я побывал в Беркли, чтобы ознакомиться с 95-сантиметровым циклотроном, небольшим ускорителем, которым мы теперь уже не пользуемся. Циклотрон применялся для ускорения дейтронов. Я забрал с собой в Палермо несколько образцов молибдена, облученного дейтронами.

У нас были веские основания думать, что молибден после бомбардировки его дейтронами должен превратиться в элемент с номером 43, который теперь называют технецием. Молибден имеет в своем ядре 42 протона. Дейтрон, ядро дейтерия, или атома тяжелого водорода, состоит из одного протона и одного нейтрона. В ядре атома технеция, очевидно, должно быть 43 протона.

Логично было ожидать, что дейтрон оставит 1 протон в ядре молибдена, превратив его в технеций, но необходимо было доказать справедливость этой гипотезы. Для доказательства мы воспользовались методом выделения следов технеция с носителем. Мы взяли молибденовую мишень, растворили ее и добавили много различных элементов в качестве носителей. Затем мы попытались выяснить, имеется ли в растворе искомое

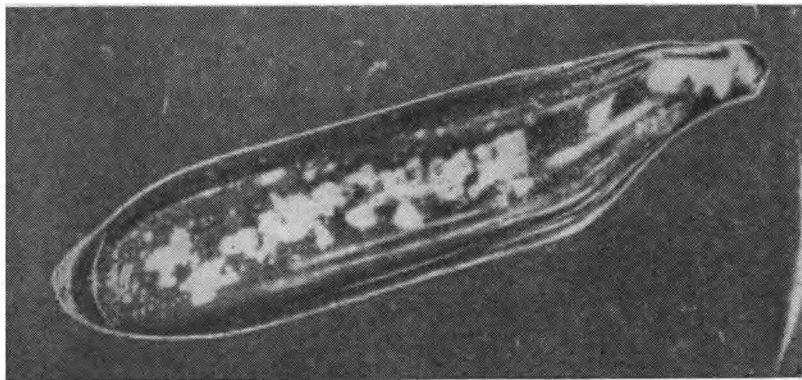
нами вещество, которое должно быть химическим аналогом рения и марганца. Оба эти элемента расположены в периодической таблице в той же вертикальной колонке, что и технеций.

Итак, после многочисленных операций нам удалось в 1937 г. обнаружить вещество, которое — это было доказано химически — не является ни одним из известных элементов, хотя очень похоже на рений; в конце концов, мы отделили его даже от рения.

Это был первый элемент, созданный руками человека. Вот почему мы называли его «технецием», что означает «искусственный». В этой работе мне помогал минералог Карло Перье. Собственно, задача была естественной для минералога, по крайней мере по напряженности она не уступала добыче руды из копей.

В 1938 г. д-р Сиборг и я, работая в Беркли, нашли долгоживущий изотоп технеция с периодом полураспада порядка 200 000 лет; позднее мисс Ву Цзянь-сюн и мне удалось обнаружить тот же элемент среди продуктов деления урана.

Показанный на фото образец соединения технеция составляет существенную часть всех мировых ресурсов



этого элемента; причем следует учесть, что это изображение втрое увеличено по сравнению с фактическими размерами. Его нельзя было приготовить методами, имевшимися в нашем распоряжении в 1938 г. Он был получен в результате цепной реакции деления в Окриджской национальной лаборатории.

Следующим искусственным элементом, который удалось открыть, был астатин с атомным номером 85.

Астатин нельзя было получить при помощи маленького циклотрона, имевшегося в 1936 г. Но как только был построен больший циклотрон, появилась возможность бомбардировать висмут альфа-частицами с энергией, достаточной для проникновения внутрь ядра.

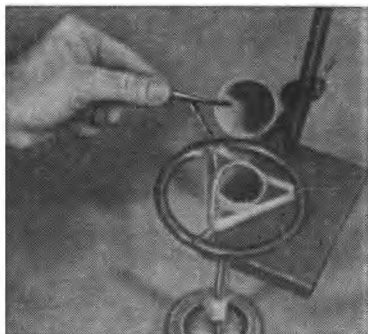
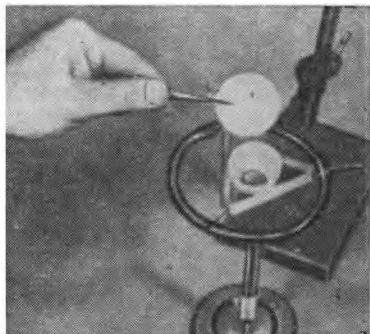
Как мы уже говорили, альфа-частица состоит из двух протонов и двух нейтронов. Если удастся ввести в ядро висмута, которое имеет 83 протона, еще два протона, то получится астатин с 85 протонами. Это происходит следующим образом. С атомов гелия срываются электроны, так что остаются голые ядра гелия, т. е. альфа-частицы. Они ускоряются в циклотроне, который заставляет их двигаться по окружности все быстрее и быстрее, пока они в конце концов не столкнутся с атомами висмута в мишени. Когда альфа-частица проникает в ядро атома висмута, из него вылетают два нейтрона, и вы получаете атом астатина.

Далее, конечно, перед вами встает задача химической идентификации астатина.

Это уже значительно легче, чем идентифицировать технеций. Астатин весьма схож с иодом, который является легколетучим, так что астатин может быть отделен от

висмута путем испарения. На самом деле эксперименты, выполненные в 1940 г. и приведшие к открытию астатина, были, конечно, несравненно более сложными, чем описано здесь.

Что касается иода, то его можно поместить в тигель и нагреть, а затем собрать пары на поверхности платиновой пластинки.



Практически то же самое можно проделать и с астатином. Кусочек висмута, который бомбардировался альфа-частицами и, следовательно, содержит некоторое количество астатина, помещается в тигель.

Если тигель нагреть, то астатин испарится точно так же, как иод.

Пары астатина невидимы, но так как он радиоактивен, мы можем сосчитать распады его



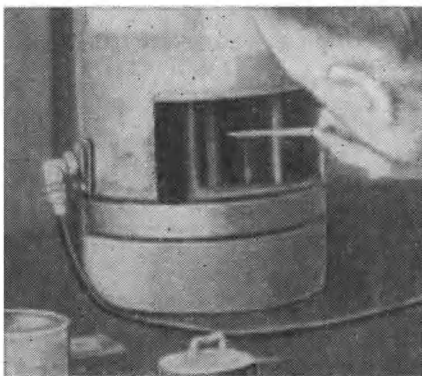
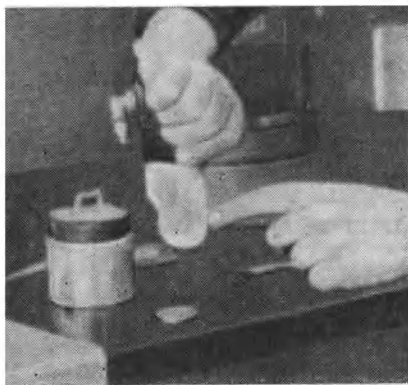
ядер при помощи счетчика Гейгера — Мюллера.

Моими коллегами по этим экспериментам с астатином были Д. Р. Корсон и К. Р. Мак-Кензи, которые в то время работали в Беркли.

Мы называли новый элемент *астатином* (от греческого «астатос» — *нестабильный*), основываясь на том, что названия всех галогенов происходят от их характерных свойств: хлор — от греческого «хлорос», т. е. *светло-зеленый*, бром — от греческого «бромос», т. е. *дурнопахнущий*; иод — от греческого «иодес», т. е. *фиолетовый*.

Астатин нельзя превратить во что-то, что можно было бы видеть или обнаружить каким-либо иным способом, нежели по его радиоактивности. Поэтому он и был назван астатином, что, как мы уже сказали, означает «нестабильный».

По своим химическим свойствам астатин похож на другие галогены, в частности на иод. Действительно, еще до открытия он был предварительно назван *эка-иод*. Он даже физиологически ведет себя подобно иоду, например



концентрируется в щитовидной железе животных и человека. (Эмилио Сегре.)

Четвертый из недостающих элементов, под номером 61, был назван прометием в честь Прометея, мифического титана, который украл огонь у богов, чтобы подарить его человеку. Прометий был впервые получен искусственным путем в атомном реакторе, а не в циклотроне. Он был идентифицирован в 1945 г. химиками из Окриджской национальной лаборатории Е. Гленденином, Дж. А. Маринским и Ч. Д. Кориэллом.

Прометий относится к группе «редких земель» и поэтому аналогичен другим редкоземельным элементам, или лантанидам.



Нитрат прометия представляет собой довольно невзрачный порошок. На фотографии в масштабе 1:1 показана значительная часть мировых запасов этого искусственного элемента.

Эти четыре недостающих элемента, в сущности, не встречаются в природе, так как они радиоактивны и, следовательно, нестабильны. Если говорить о практическом примене-

нии этих элементов, то они, по всей видимости, бесполезны или, по крайней мере, представляют ограниченный интерес. Но они весьма важны с точки зрения изучения строения атома и ядра.

За ураном

Открытие четырех недостающих элементов позволило заполнить всю периодическую таблицу, вплоть до урана.

Но это были лишь первые шаги на пути создания новых видов материи. Последовавшие вслед за тем достижения ознаменовали волнующий триумф человека над природой и глубоко потрясли весь мир.

За ураном расположены сильно радиоактивные элементы с атомными номерами, превышающими 92. Ни один из них не встречается в естественных условиях на Земле, если не считать мизерных количеств, обнаруженных в одном-двух случаях. Они могут быть получены лишь искусственным путем.

Действительно, все элементы тяжелее свинца и висмута радиоактивны и непрерывно распадаются. В конечном счете свинец и висмут станут самыми тяжелыми природными элементами на Земле, так как более тяжелые — полоний, радон, радий, актиний, торий, протактиний и уран — в некоторый момент времени, правда в отдаленном будущем, бесследно исчезнут.

Наличие в настоящее время этих элементов является одним из подтверждений ограниченности возраста Земли, который по последним данным оценивается приблизительно в 5 миллиардов лет.

Элементы, которые должны быть расположены за ураном, в еще большей степени нестабильны. Период полураспада изотопа плутония Pu-239, к примеру, составляет 24 000 лет, а менделевия — около полу-

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe	
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	93	94	95	96	97	98	99	100					
		↓																
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu		

Здесь представлена периодическая таблица, какой она была примерно 25 лет назад, перед второй мировой войной, когда ученые впервые попытались получить заурядные элементы.

Технеций (Tc), прометий (Pm), аstatин (At) и франций (Fr) также фигурируют в этой таблице, хотя в действительности они получили свои названия позднее, а некоторые, собственно, и открыты были в более поздний период.

Лантан и редкоземельные элементы были размещены между барием и гафнием, как это имеет место и теперь, но три наиболее тяжелых элемента, известных в то время, — торий, протактиний и уран, — как полагали, следуют за актинием и родственны соответственно гафнию, танталу и вольфраму. Таким образом, ожидалось, что следующий элемент (под номером 93) должен иметь некоторые свойства, сходные со свойствами рения.

Аналогично элементы под номерами 94—100 должны были располагаться в периодической таблице так, как показано на рисунке.

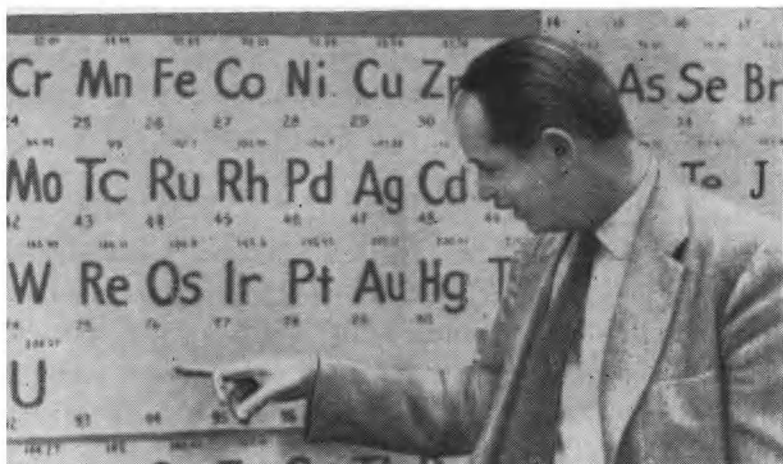
Первая попытка создать заурановые элементы была предпринята итальянскими физиками Ферми, Сегре и их сотрудниками, которые в 1934 г. производили бомбардировку урана нейтронами. Они действительно обнаружили много радиоактивных продуктов.

Казалось, что эти продукты обладают такими химическими свойствами, которые можно было бы ожидать у «трансурановых» элементов с номерами 94 или 96, т. е. что они схожи по свойствам с элементами, расположенными в тогдашней таблице непосредственно над клетками 94 и 96.

Однако последующие работы, в особенности открытие в 1938 г. Отто Ганом, Ф. С. Штрассманом и их сотрудниками деления ядер, показали, что Ферми и Сегре неверно интерпретировали свои результаты.

Выяснилось, что радиоактивные продукты в экспериментах Ферми — Сегре были на самом деле радиоактивными изотопами более легких элементов — продуктов деления типа иода или олова.

Открытие элемента с атомным номером, бóльшим 92, произошло в 1940 г. в результате работы Эдвина М. Макмиллана, ныне директора Радиационной лаборатории в Беркли, и Филиппа Х. Эйбельсона. Они бомбардировали уран нейтронами и впервые действительно обнаружили 93-й элемент. О создании первого трансуранового элемента расскажет сам Макмиллан, которому в 1951 г. присуждена Нобелевская премия по химии, совместно с д-ром Сиборгом, отмеченным за это и другие аналогичные исследования.



Нептуний

История первого трансуранового элемента возвращает нас к тому времени, когда в США пришло первое сообщение о великом открытии деления ядер.

Все были возбуждены этой вестью. Каждый старался придумать простые опыты, которые можно было бы осуществить с тем, чтобы получить дополнительные сведения об этом явлении.

В частности, я обдумывал и ставил эксперимент по измерению расстояний, которые пробегают в веществе осколки деления атома урана.

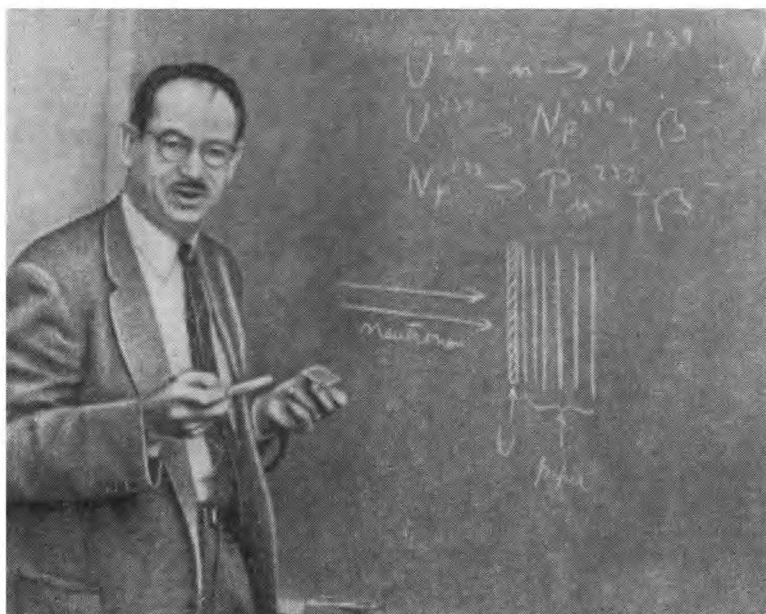
Для этого я нанес тонкий слой окиси урана на полосу бумаги и установил очень тонкий экран из нейтрального материала для задержки осколков, возникающих в результате деления урана.

Была использована обычная папиросная бумага, аналогичная той, которую применяют курильщики для «самокруток». Я сложил бумагу в стопку, так что получилась

миниатюрная книжечка, и на наружный лист нанес слой окиси урана.

Эта книжечка из папиросной бумаги вместе с окисью урана была использована в качестве мишени циклотрона. Возникающие в результате бомбардировки нейтронами осколки деления урана попадают в книжечку, проникая на различную глубину ее.

Все, что оставалось сделать после облучения,— это вынуть папиросную бумагу из циклотрона и при помощи счетчика Гейгера измерить радиоактивность каждого листочка по отдельности. Этот эксперимент и в самом деле почти такой простой, каким вы себе его можете представить. Конечно, я получил нужные мне данные. Но при этом оказалось, что побочные результаты значительно важнее тех, для которых, собственно, и был поставлен эксперимент.

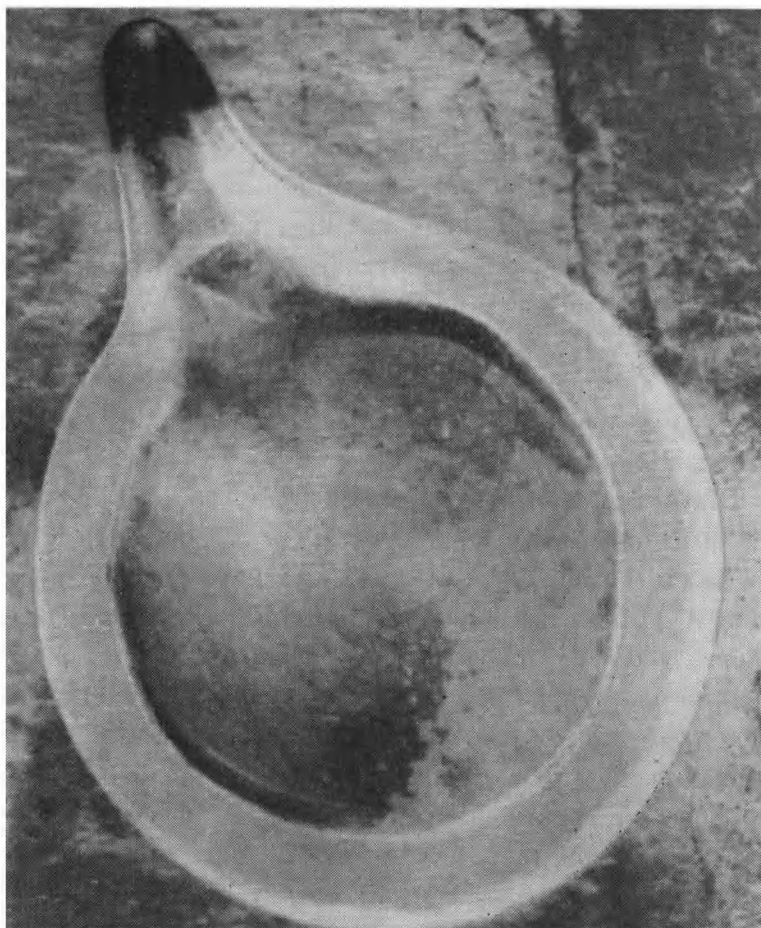


Побочный результат состоял в том, что первый листик бумаги, на котором находился уран, также содержал радиоактивный продукт, который имел иной период полураспада и иные свойства, нежели продукты деления в других листиках книжечки.

Попробуем понять, почему бы это могло быть. Почему одни радиоактивные вещества задерживаются, а другие проскакивают? Очевидно, здесь имеет место иной процесс, который можно объяснить следующим образом. Предположим, например, что нейтрон просто захватывается атомом урана, и при этом уран не разрушается. Этот процесс, в сущности, был уже известен, и появляющийся в результате подобного захвата радиоактивный уран был действительно обнаружен на листе бумаги. Но, кроме того, наблюдалась и другая радиоактивность, с новым периодом распада, который ранее не встречался и который, как я подозревал, мог принадлежать другому элементу, возникшему в результате распада радиоактивного урана.

К разрешению этой проблемы, в частности к работе по идентификации новой радиоактивности, был привлечен мой старый друг и коллега Филипп Эйбельсон из института Карнеги в Вашингтоне, приехавший в Беркли на летние каникулы.

Эти каникулы оказались довольно тяжелыми, так как Эйбельсон присоединился ко мне, и мы работали над изучением химических свойств радиоактивного вещества, найденного на первом листике бумажного экрана. Нам удалось показать, что эти свойства отличаются от свойств любого другого известного в то время элемента. Так был обнаружен новый элемент — нептуний с атомным номе-



ром 93; он показан здесь в ампуле размером с 10-копеечную монету.

Нептуний назван в честь планеты Нептун, подобно элементу урану, получившему свое название в 1789 г. в честь планеты Уран, открытой семью годами ранее.

Неожиданные химические свойства, которыми, как мы обнаружили, обладает нептуний, заставляют вне-

сти некоторые изменения в периодическую таблицу элементов.

Было известно, что новый элемент должен, естественно, иметь на один протон больше, чем уран. В соответствии с периодическим законом и тем расположением элементов в периодической таблице, которое было общепризнанным в то время, нептуний должен по своим свойствам походить на рений. Ведь согласно этой таблице (см. стр. 132) элемент с атомным номером 93 находится как раз под рением, и мы ожидали выявить близкие свойства у этих элементов, расположенных в одной и той же колонке.

В действительности же мы с Эйбельсоном установили, что нептуний ничуть не похож на рений. Он более близок к урану. По существу, разница между нептунием и ураном довольно незначительна. И этот факт вскоре заставил пересмотреть периодическую таблицу в той области, где расположены наиболее тяжелые элементы.

После отъезда д-ра Эйбельсона из Беркли я продолжал свои попытки найти следующий, более тяжелый элемент с номером 94.

Вы можете спросить меня, почему должен существовать этот следующий элемент? Ответ чрезвычайно прост: ядро нептуния претерпевает радиоактивный распад, испуская электроны, а это всегда связано с переходом нейтрона в протон, т. е. с повышением положительного заряда.

Добавка одного протона к ядру 93-го элемента, естественно, дает элемент с атомным номером 94. Итак, мы знали, что 94-й элемент должен существовать. Задача была найти его.

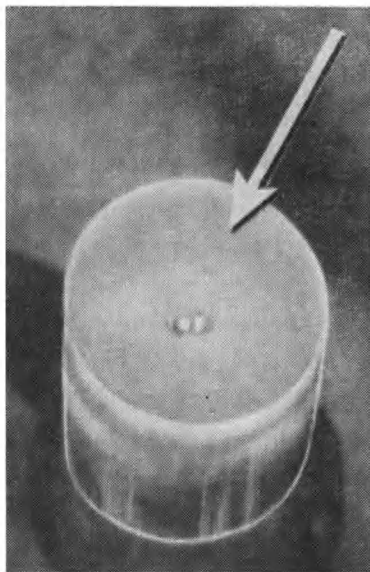
Мы полагали, что этот элемент должен распадаться, испуская альфа-частицы, а не электроны, что несколько затрудняло обнаружение его при помощи методов, которыми мы уже располагали в то время.

Я приобрел кое-какие навыки в новых экспериментальных методах, и мне действительно удалось зарегистрировать несколько альфа-частиц. Но страна была накануне вступления в войну, и мне пришлось отставить эти эксперименты и вернуться к радиолокации.

Исследования над трансурановыми элементами продолжил д-р Сиборг. (*Эдвин М. Макмиллан.*)

Работу над элементом 94 продолжили Г. Сиборг, Артур К. Валь, Джозеф У. Кеннеди и Эмилио Сегре. Первая удачная идентификация одного из изотопов нового элемента была осуществлена, в сущности, после бомбардировки урана на 150-сантиметровом циклотроне в Беркли дейтронами — ядрами водорода, состоящими из нейтрона и протона, а не в результате простого облучения его нейтронами.

Этот элемент, следующий после нептуния, был назван по имени планеты Плутон, которая находится за Нептуном. Здесь показан первый видимый простым глазом и весомый образец плутония размером со след от укола иглы. Он



теперь вмонтирован в пластмассовый цилиндр и хранится как сувенир.

Если представить ядро урана в виде кучки черных шашек (протоны) и белых шашек (нейтроны), то можно получить грубую картину рассматриваемых здесь ядерных реакций.

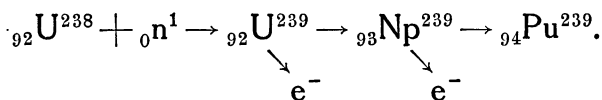


Макмиллан и Эйбельсон добавили в ядро урана нейтрон, сделав тем самым это ядро нестабильным; оно распадается,

когда один из находящихся в нем нейтронов самопроизвольно испускает электрон, превращаясь таким образом в протон. В результате появляется 93-й элемент, нептуний.

Затем еще один нейтрон испускает электрон и превращается в протон, создавая 94-й элемент, плутоний.

На языке ядерной физики эта последовательность реакций может быть записана в виде:

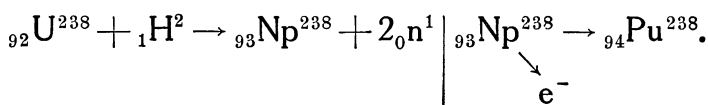


Уран-238 поглощает нейтрон, превращаясь в тяжелый нестабильный изотоп урана, U-239. Последний излучает электрон и становится нептунием-239. Затем излучается еще один электрон, и перед нами плутоний-239.

Написанный здесь символ нейтрона ${}_0\text{n}^1$ указывает на то, что нейтрон не несет заряда, но имеет атомный

вес, приблизительно равный единице. Знак минус у «e» означает потерю единичного заряда отрицательного электричества, или, что то же самое, приобретение заряда положительного электричества.

Реакция получения плутония при помощи бомбардировки дейтронами может быть записана следующим образом:



Здесь дейтрон, или ядро тяжелого водорода, обозначен символом ${}_1\text{H}^2$; это указывает на то, что дейтрон имеет единичный заряд, обусловленный протоном, но поскольку в нем содержится еще и нейтрон, атомный вес его равен двум.

Наиболее важен изотоп плутоний-239, так как он обладает ценным свойством: при облучении медленными нейтронами его ядра делятся. Это означает, что Pu-239 может быть использован для производства ядерной энергии, а также ядерного оружия.

Фундаментальные эксперименты, показавшие, что плутоний-239 подвержен делению под воздействием медленных нейтронов, были выполнены на циклотроне в Беркли в начале 1941 г.

В меньших масштабах эти эксперименты были повторены с использованием в качестве источника нейтронов не циклотрона, а смеси радия и бериллия. Результаты фиксировались на осциллографе, соединенном с ионизационной камерой. Ионизационная камера, являющаяся, как и счетчик Гейгера, детектором (регистратором) излучения, представляет собой изолированный объем, в кото-

ром имеются положительный и отрицательный электроды и некоторый газ. При попадании заряженных частиц внутрь камеры атомы газа могут быть ионизированы, т. е. с них срываются электроны. Возникающие в результате этого ионы (заряженные атомы) движутся к одному из электродов, создавая электрический ток, который можно усилить и наблюдать на экране осциллографа.

Если делящийся $Pu-239$ поместить в ионизационную камеру, то альфа-частицы, испускаемые в результате его радиоактивности, будут видны как слабые импульсы на осциллографе.

Если же теперь расположить под ионизационной камерой источник нейтронов, то время от времени на осциллографе появляются большие, широкие импульсы. Эти взрывы большой энергии говорят о том, что имеет место расщепление плутония-239 медленными нейтронами.

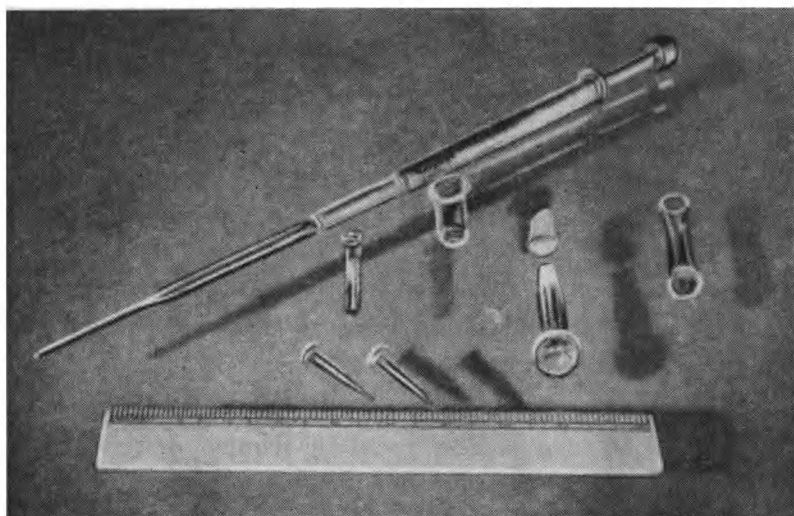
Поскольку было доказано, что плутоний-239 обладает таким важным свойством, встала проблема получения его в значительных количествах.

Для этой цели химики, физики и биологи были объединены в знаменитой во время войны Металлургической лаборатории при Чикагском университете.

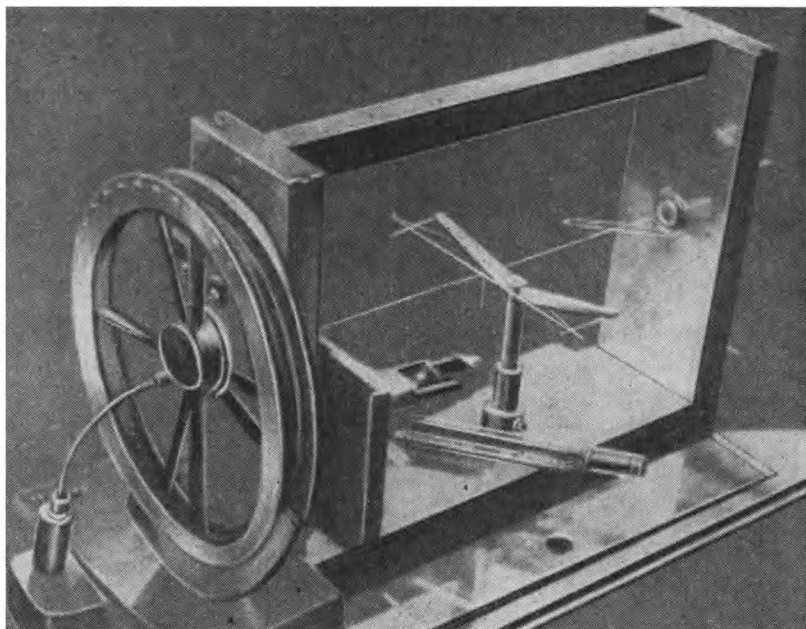
Здесь физики под руководством ныне покойного Энрико Ферми создавали цепную реакцию для массового производства плутония из природного урана и графита.

Химики разрабатывали процессы отделения плутония от урана и от сильно радиоактивных продуктов деления, которые возникают в результате цепной реакции.

Интересный аспект этой химической проблемы состоял в том, что важнейшие эксперименты нужно было производить с почти невидимыми количествами плутония, с массами порядка одной десятиллионной доли унции (1 унция = 28,3 грамма). Для этого приходилось растворять небольшие количества материала в весьма малых количествах раствора, к примеру, в одной-единственной капле. На фото показана применявшаяся в подобных исследованиях миниатюрная лабораторная посуда.



Весы и центрифуги, а также пробирки и колбы были приспособлены для работы с мизерными (с булавочную головку) количествами вещества. В изображенных на фотографии ультрамикровесах используются для поддержки коромысла и чашек кварцевые нити тоньше человеческого волоса, и химики иногда говорили, что им приходилось взвешивать невидимые образцы на невидимых весах.



Используя ультрамикрoхимическое оборудование, Баррис Б. Кэннингхэм и Луис Б. Вернер разработали химию плутония. Они также взвесили первый видимый простым глазом образец плутония, который показан на стр. 139. Сколько же он весит? Меньше одной десяти-миллионной доли унции!

Ультрамикрoхимические эксперименты были предприняты с целью исследования химических процессов отделения плутония, который производился во время войны в Хэнфорде (штат Вашингтон).

Этот процесс, в котором в качестве носителя используется фосфат висмута, был предложен и в значительной части разработан Стэнли Дж. Томпсоном.

Всего имеется три делящихся материала, или ядерных топлива,— так называемая «большая тройка»: плуто-

ний-239, естественный изотоп урана U-235 и искусственный изотоп U-233.

Плутоний-239, как мы уже говорили, получают в результате облучения природного урана-238 нейтронами в ядерном реакторе, или «котле».

Уран-235 присутствует в обычном природном уране, составляя 1/140 часть его, и может быть отделен при помощи сложных методов, таких, которые были разработаны в Окридже (штат Теннесси) во время войны.

Все это привело нас приблизительно в 1944 г. к поискам новых элементов и одновременно к серьезному теоретическому тупику.

Выход из тупика

Работая в 1944 г. в Металлургической лаборатории Чикагского университета, Сиборг, Ральф Джеймс, Леон Морган и Альберт Гиорсо начали тщательные поиски следующих двух элементов, с атомными номерами 95 и 96.

Получить новый элемент подчас несравненно легче, чем обнаружить его, доказать, что он действительно открыт.

Сиборг и его коллеги ставили различные ядерные эксперименты, рассчитывая получить 95-й или 96-й элемент. Затем они производили длительные и сложные химические манипуляции, пытаясь изолировать и идентифицировать микроскопические следы этих новых видов материи.

Когда вы ищете что-то, причем даже неизвестно, существует ли это «что-то», вы должны иметь путеводную

нить, некоторые наметки, как, где и, конечно, что искать. Эти ориентировочные идеи и определяют то, как вы строите свои эксперименты.

Периодическая таблица элементов, если она правильна, может подсказать вам, что следует искать.

Уран, нептуний и плутоний, как было установлено в 1944 г., могли считаться в некотором роде «химическими родственниками», но родственная связь между ними оставалась неясной. Полагали, что элементы с номерами 95 и 96 по своим химическим свойствам также должны быть весьма похожи на эти три элемента.

Иначе говоря, можно было думать, что все эти элементы образуют группу уранидов (т. е. похожих на уран).

Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	(U-96)				

U	Np	Pu	95	96
---	----	----	----	----

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd
----	----	----	----	----	----	----	----

Периодическая таблица 1944 г., таким образом, утверждала, что химические свойства 95-го и 96-го элементов должны быть сильно похожими на свойства нептуния и плутония.

Оказалось, что эти предположения ошибочны, и эксперименты, поставленные с целью открытия 95-го и 96-го элементов, не оправдали ожиданий.

Тогда Сиборг выдвинул идею, что, возможно, элементы тяжелее актиния помещены в периодической таблице неправильно.

Макмиллан установил, что нептуний совершенно не похож на рений, как это должно было бы быть. И теперь неоткрытые элементы 95 и 96 отказывались занять место, предназначенное для них в таблице 1944 г.

Теория Сиборга состояла в том, что все элементы тяжелее актиния могут составить второй ряд, аналогичный ряду *редких земель*, или *лантанидов*. Лантаниды по своим химическим свойствам весьма близки друг другу, и обычно они помещаются в отдельную строку, под основной частью периодической таблицы.

По теории Сиборга все более тяжелые элементы фактически близки к актинию и располагаются в периодической таблице непосредственно после радия, точно так же, как известные лантаниды размещены вместе с лантаном между барием (Ba) и гафнием (Hf).

Таким образом, в пересмотренной периодической таблице наиболее тяжелые элементы составляют второй ряд «редких земель», и эти тяжелейшие элементы — для них было предложено название *актиниды* — были вынесены в особую строку, как и уже известный ряд редкоземельных лантанидов.

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	95	96	97	98	99	100	101	102	103

Первые члены ряда актинидов, приблизительно до плутония, имеют химические свойства, сходные со свойствами первых элементов ряда лантанидов, хотя и не совсем такие же; актиниды легче теряют электроны в химических реакциях, переходя в форму более высокого «окисленного состояния».

С точки зрения новой концепции, 95-й и 96-й элементы должны иметь ряд свойств, общих для актинидов, и некоторые свойства, роднящие их с редкоземельными «братьями» — европием и гадолинием.

Как только были поставлены эксперименты, основанные на этой новой концепции, элементы 95 и 96 были тотчас открыты, т. е. они были химически идентифицированы.

Америций, элемент № 95, был назван так в честь Америки, подобно тому, как его редкоземельный «брат», европий, получил свое название в честь Европы. Элемент № 96 назван «кюрием» в память о Марии и Пьере Кюри, аналогично тому, как соответствующий редкоземельный элемент, гадолиний, назван по имени финского химика, исследовавшего редкие земли, Юхана Гадолина.

Воспользовавшись той же концепцией для предсказания химических свойств 97-го и 98-го элементов, Томсон, Гиорсо, Кеннет Стрит-младший и Сиборг в Беркли в 1949 и 1950 гг. открыли оба этих новых элемента. Как было выяснено, они также похожи на своих редкоземельных двойников.

Берклий, элемент № 97, получил свое название от города Беркли, точно так же, как ранее тербий был назван по имени города Иттербю (Швеция), где впервые были найдены редкие земли.

Калифорний, элемент № 98, аналогичен по своим свойствам диспрозию, но назван просто в честь университета и штата, где выполнена эта работа. Исследователи, открывшие калифорний, следующим образом объясняют свой выбор названия для него: «Известно, что название *диспрозий* происходит от греческого слова, означающего «труднодоступный». Называя вновь открытый элемент *калифорнием*, мы хотели тем самым отметить, что первооткрывателям этого элемента пришлось столь же трудно, как век назад пионерам Америки трудно было достигнуть Калифорнии.

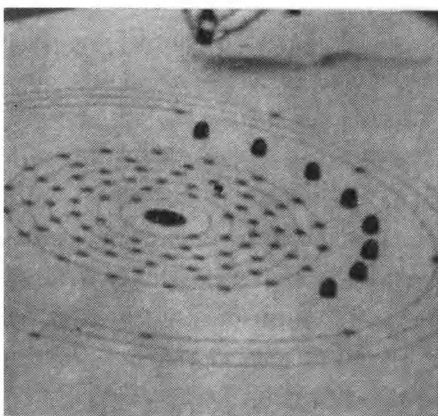
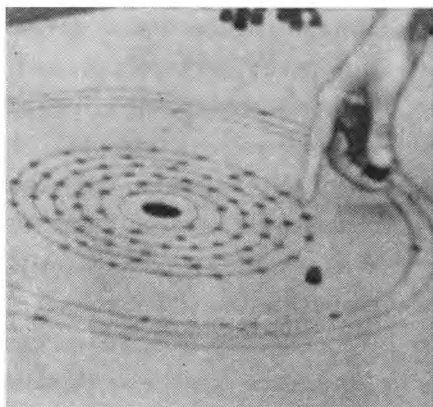
Все эти новые открытия, конечно, подтвердили теорию Сиборга, и трансурановые элементы вместе с торием, протактинием и ураном теперь называются актинидами. Они располагаются в периодической таблице между актинием и элементом «эка-гафний». «Эка-гафний» — предварительное название, данное неоткрытому элементу с атомным номером 104, который в таблице находится непосредственно под гафнием и, по-видимому, должен по своим химическим свойствам быть близким к последнему *).

Тот факт, что все актинидные элементы по своим химическим свойствам аналогичны актинию, следует сопоставить с другим фактом: химические свойства элементов в значительной степени определяются числом электронов во внешней электронной оболочке атома. Поэтому вряд ли является сюрпризом открытие, что у большинства актинидов имеется приблизительно такое же число внешних электронов, как и у самого актиния.

Каждый элемент, конечно, имеет присущее только ему одному число электронов. Но большинство дополни-

*) Элемент № 104 был получен в 1964 г. Подробнее об этом рассказано на стр. 189—201. (Прим. перев.)

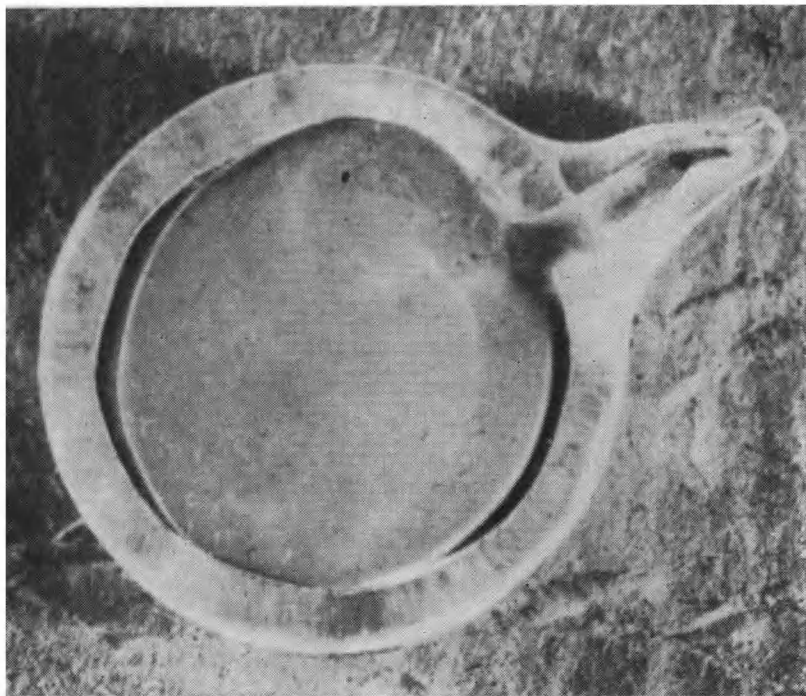
тельных электронов, идущих на построение каждого следующего, более тяжелого актинидного элемента, помещается на более глубо-
бую оболочку атома (кольцо электронов), известную под названием $5f$ -оболочки.



На схематической модели атома актиния можно видеть всего 89 электронов, окружающих ядро и распределенных по некоторому числу колец, или оболочек.

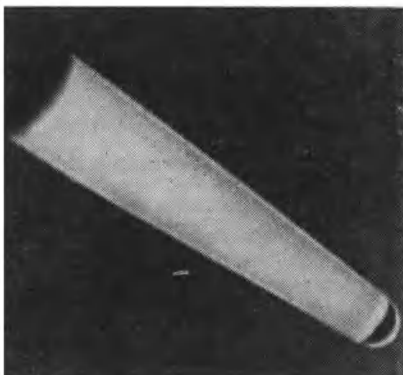
Дополнительные электроны, которые требуются для следующих четырнадцати тяжелых элементов, должны быть помещены в большинстве случаев не на внешнюю, а на находящуюся глубже $5f$ -оболочку. Подойдя к седьмому элементу по-

сле актиния, т. е. элементу № 96, мы должны дополнить эту оболочку семью электронами; когда же мы подойдем к четырнадцатому после актиния элементу, т. е. к элементу № 103, $5f$ -оболочка до предела заполнится 14 электронами, и ряд актинидных элементов будет окончательно скомплектован.



Здесь показана окись америция в пузырьке размером примерно в десятикопеечную монету. Это считается внушительной порцией америция, так как элементы, расположенные за плутонием, сильно нестабильны, и их весьма сложно получать; поэтому нам приходится иметь дело с все меньшими и меньшими количествами этих веществ.

Мизерное количество кюрия в растворе, имеющееся в этой колбе, обладает такой радиоактив-



ностью, что вещество удалось сфотографировать в собственном свечении.

Еще более тяжелые элементы часто собираются на платиновой пластинке с тем, чтобы их можно было обнаружить по радиоактивности, так как увидеть другим способом их нельзя. Действительно, к моменту написания этой книги ни один из элементов тяжелее калифорния не был выделен в количествах, достаточных для того, чтобы их можно было увидеть невооруженным глазом. Первое поддающееся взвешиванию количество калифорния — около одной миллиардной доли унции — было выделено в Беркли в июле 1958 г.

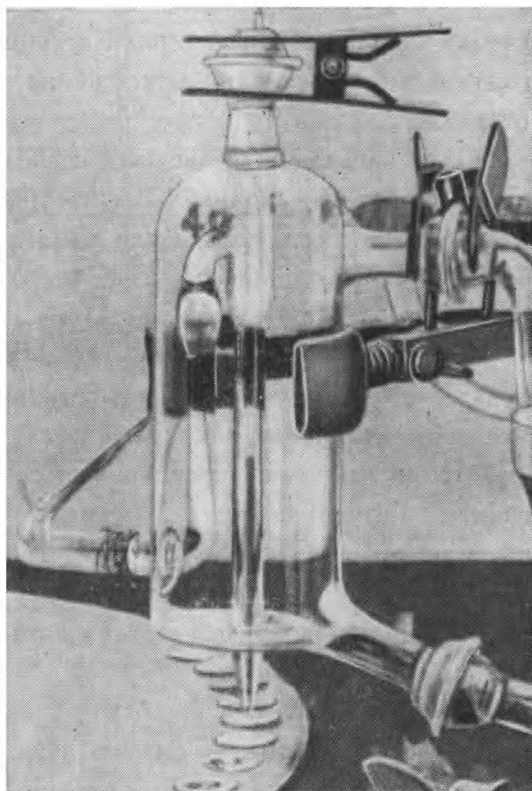
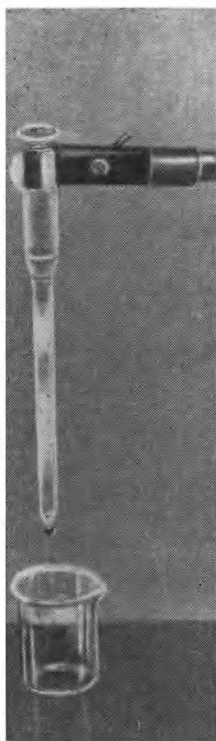
Открытие того, что актиниды похожи на редкоземельные элементы, оказалось весьма плодотворным для их идентификации.

Актиниды, например калифорний или берклий, могут быть выделены методом, успешно применяющимся для отделения редкоземельных элементов. Он известен как ионообменный абсорбционно-элюционный метод — сложное название очень простой вещи.

Этот метод можно продемонстрировать на примере других элементов, таких, как кобальт и хром. Смесь этих двух элементов абсорбируется (поглощается) в верхней части колонки из органического вещества — особого рода смолы. Затем мы вливаем в нее раствор, который растворяет смесь и просачивается через колонку.

Один из элементов в смеси просачивается быстрее, чем другой, и может быть собран отдельно, когда он капает со дна. На этом снимке, изображающем разделение

кобальто-хромовой смеси, вы можете увидеть темный слой приблизительно на трети пути в колонке и еще один — у выхода из нее.



Процесс протекает аналогичным образом и с актинидными элементами, хотя они радиоактивны и часто имеются в количествах, слишком малых, чтобы их можно было разглядеть.

Аппаратура, применявшаяся на практике для отделения, например, берклия от калифорния, представляет собой темную колонку из смолы, окруженную стеклянным

колпаком, который служит единственно лишь для обогрева колонки паром, так как процесс происходит быстрее при высокой температуре.

Раствор, содержащий нужный элемент, капля за каплей стекает со дна колонки и собирается на маленькие платиновые пластинки, лежащие на краю вращающегося столика.

Один элемент выделяется с несколькими первыми каплями; затем в нескольких следующих каплях выделяется второй элемент и т. д. Если эти капли собираются последовательно одна за другой, то, естественно, элементы отделяются друг от друга.

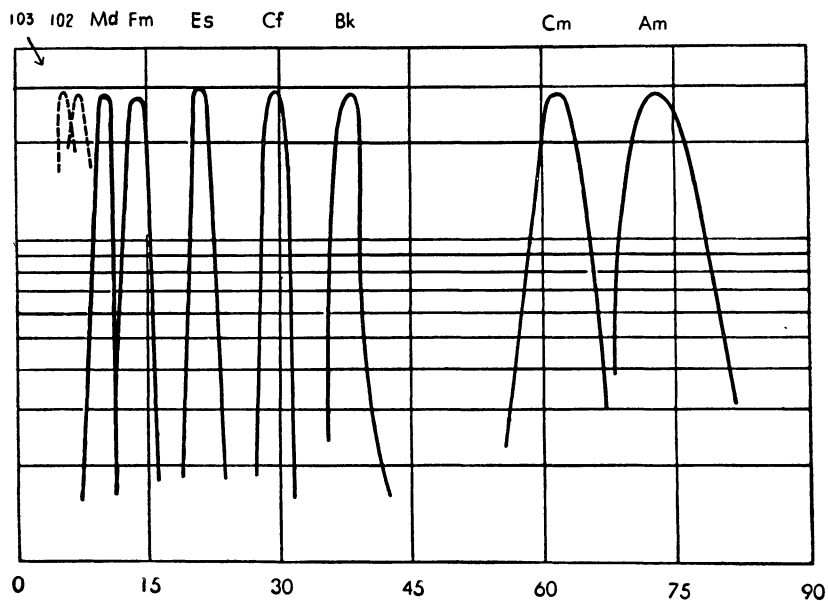
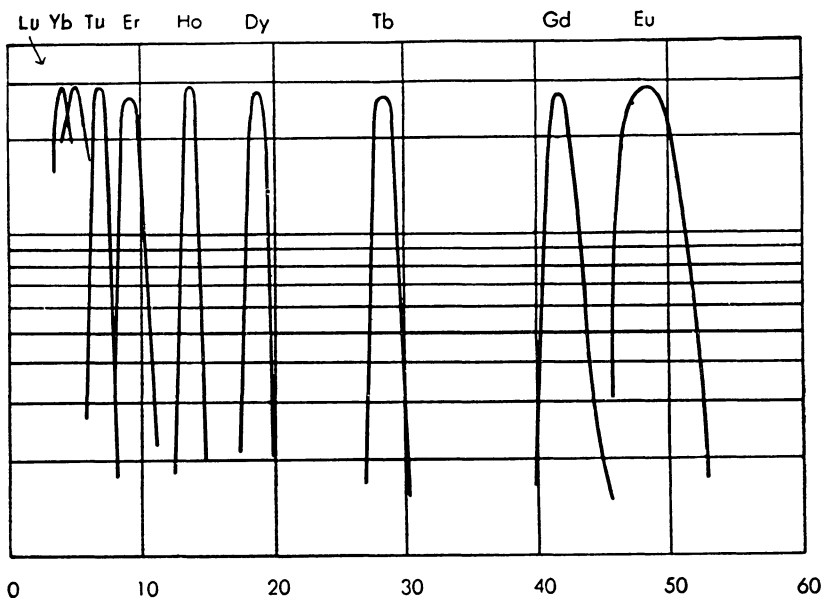
Именно таким образом были химически идентифицированы все актинидные элементы тяжелее кюрия в ходе экспериментов по их обнаружению.

Мы можем даже предсказать, основываясь на аналогичных экспериментах с лантанидами, в каких каплях, по-видимому, можно найти новый актинидный элемент. Это обусловлено тем, что лантаниды и актиниды приблизительно одинаково ведут себя при прохождении через ионообменную колонку.

Предположим, что мы осуществляем два одинаковых эксперимента — один со смесью девяти наиболее тяжелых лантанидных элементов (от европия до лютеция), а другой — со смесью тяжелых актинидных элементов (начиная с америция).

Поместив лантаниды и актиниды в разделительные ионообменные колонки, можно зафиксировать время, необходимое для прохождения через колонку каждого данного элемента.

Результаты представлены на графиках. На верхнем графике видно, что первым проходит сквозь



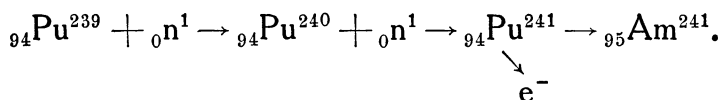
колонку и достигает дна самый тяжелый из лантанидов — лютеций. Далее идут иттербий, тулий, эрбий и т. д.

На нижнем графике, где время измеряется по числу падающих капель, можно видеть, что первыми появляются элементы № 103 и 102, если они присутствуют в исходной смеси; эти элементы указаны пунктирными линиями, чтобы отметить их предсказываемое положение. В реальных экспериментах, в которых не участвовал элемент № 102, первым появился менделевий, затем — фермий, эйнштейний и т. д.

В каждом случае время, затрачиваемое на прохождение колонки каким-либо из лантанидных элементов, связано с временем, затрачиваемым соответствующим актинидным элементом. Например, наблюдается тот же интервал времени между появлением тербия и гадолиния, что и между появлением родственных им актинидов — берклия и кюрия.

На этом заканчивается рассказ о первых шести трансурановых элементах. Сделаем лишь небольшое замечание о ядерных реакциях, использованных для получения америция, кюрия, берклия и калифорния.

Америций был произведен путем поглощения нейтронов плутонием:

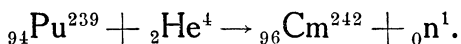


Плутоний захватывает нейтрон, становясь более тяжелым, а затем захватывает второй нейтрон. После этого ядро плутония испускает электрон за счет превращения

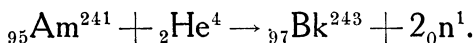
одного из нейтронов в протон, и, естественно, образуется новый элемент — америций.

Следующие три тяжелых элемента были получены путем бомбардировки ядрами гелия. В каждом случае ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов, объединяется с тяжелым ядром. При этом положительный заряд тяжелого ядра повышается на две единицы, а один или два нейтрона улетучиваются.

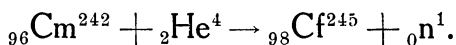
Кюрий впервые получили в результате бомбардировки плутония-239:



Производство берклия свелось к бомбардировке америция:



Наконец, кюрий был аналогичным образом превращен в калифорний:

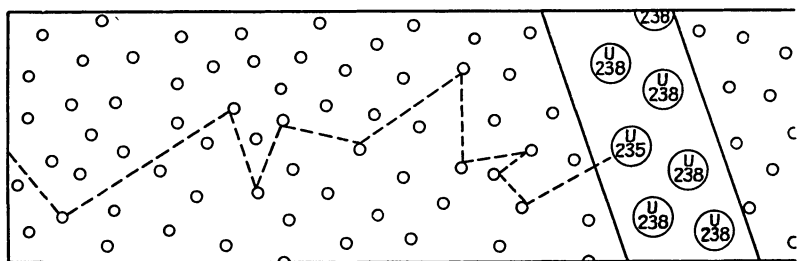


Открытие деления ядер затмило собой все другие последние достижения ядерной химии и физики.

Важнейшие делящиеся изотопы плутония и урана — Pu-239, U-235 и U-233 — могут быть использованы в управляемой цепной реакции для производства атомной энергии. Сердцем ядерного реактора, или, как его иногда называют, атомного котла, может служить комплект урановых топливных элементов. Они изготавливаются из природного урана, содержащего два вида атомов — U-235, который способен делиться, и U-238, который не делится.

Когда в ядро $U-235$ попадает нейтрон, оно подвергается делению, т. е. раскалывается; в результате из каждого такого ядра образуются радиоактивные продукты деления. Кроме того, при делении возникают два или три новых нейтрона, которые разлетаются в стороны и, соударяясь с другими ядрами $U-235$, вызывают цепную реакцию.

Однако нейтроны должны быть замедлены, так как они при этом становятся более эффективными. Замедление обеспечивается специальным замедлителем, например графитом. На рисунке показан пунктиром путь нейтрона, последовательно сталкивающегося с атомами углерода и, наконец, проникающего в ядро атома $U-235$.



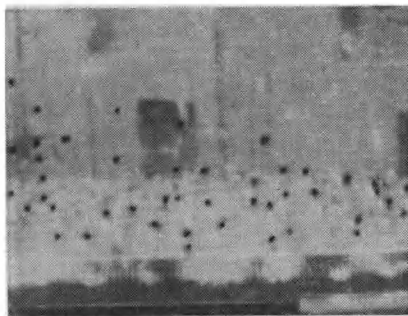
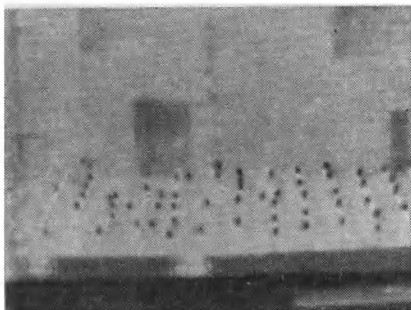
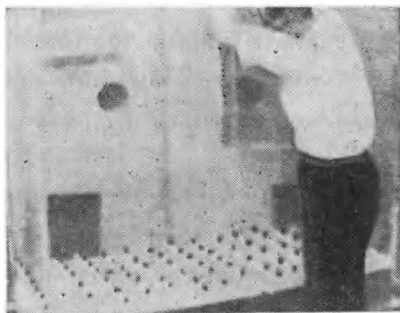
В результате ядро $U-235$ расщепляется и выбрасывает два или три нейтрона. Эти нейтроны проходят путь, аналогичный тому, который проделал первый нейтрон, и обычно захватываются ядрами $U-235$, опять-таки вызывая деление и высвобождение еще большего числа нейтронов.

Возникающая в итоге цепная реакция может быть продемонстрирована на механической модели, которая представляет собой довольно забавное зрелище.

Возьмем большое число пружинных мышеловок и на каждую из них положим две-три пробки. Если сверху бросить одну пробку (играющую роль медленного нейтрона), она заставит защелкнуться какую-либо из мышеловок, и с нее слетят еще две или три пробки, которые в свою очередь вызовут срабатывание других мышеловок. Эта цепная реакция развивается с нарастающей скоростью, пока не срабатывают почти все мышеловки.

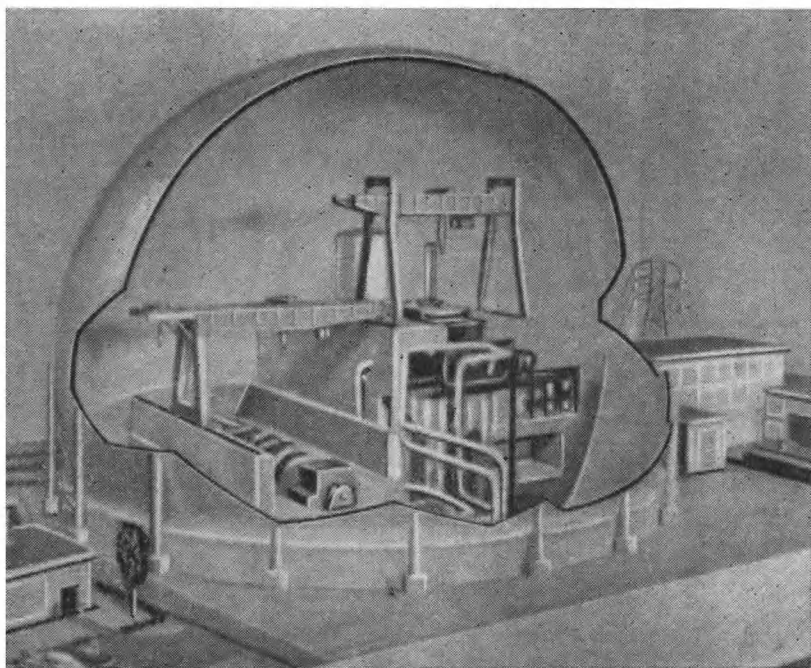
В данном опыте каждая мышеловка подключена к небольшой лампочке, которая загорается, когда мышеловка срабатывает. Мышеловка

отнюдь не может служить хорошей моделью ядра $U-235$, так как она остается целой, тогда как делящееся ядро $U-235$ раскалывается на две части. Эти два основных осколка деления ядра разлетаются с большой скоростью в оставшемся уране топливного элемента. Поскольку осколки движутся через топливный элемент, они замедляются и выделяют энергию в виде тепла, подобно



тому, как при торможении автомобиля нагреваются его тормоза. Именно на этом основано получение полезного тепла в результате цепной реакции в атомном котле.

Цепная реакция на уране-235 преобразуется в промышленную энергию на специальных ядерно-энергетических установках; здесь изображена модель одной из та-



ких установок, построенной вблизи Чикаго. Под грузоподъемным краном находится окруженный бетоном урановый реактор с вертикальными стержнями, которые являются топливными элементами.

Замедлителем в данной конкретной установке служит обычная вода. Тепло, возникающее в результате деления ядер урана, нагревает воду до кипения. Образующийся

при этом пар поступает в обычную паровую турбину, которая вращает генератор и производит, таким образом, электричество.

По существу, особенным является лишь источник энергии — ядерный реактор; в остальном же установка состоит из стандартного оборудования.

Атомный котел производит также важный побочный продукт: дополнительное ядерное топливо.

Некоторые из нейтронов, возникающих в результате управляемой цепной реакции, ударяются о ядра неделящихся атомов U-238. В этом случае U-238 захватывает нейтрон и переходит в более тяжелый изотоп урана, U-239, который распадается, превращаясь, в конечном счете, в плутоний-239.

Плутоний-239 можно химически отделить и использовать в качестве ядерного топлива в другом реакторе.

Аналогичным образом из обычного тория может быть получено новое ядерное топливо — уран-233. Торий-232, захватив нейтрон, переходит в торий-233, а тот распадается, превращаясь в уран-233.

Открытие в грибовидном облаке

Открытие элементов № 99 и 100 произошло в южной части Тихого океана. В ноябре 1952 г. был произведен мощный взрыв, первый полномасштабный термоядерный взрыв, вызванный цепной реакцией.

В результате взрыва на территории острова образовался кратер шириной в милю, а радиоактивное облако поднялось на высоту десяти миль и достигло диаметра приблизительно в сотню миль.



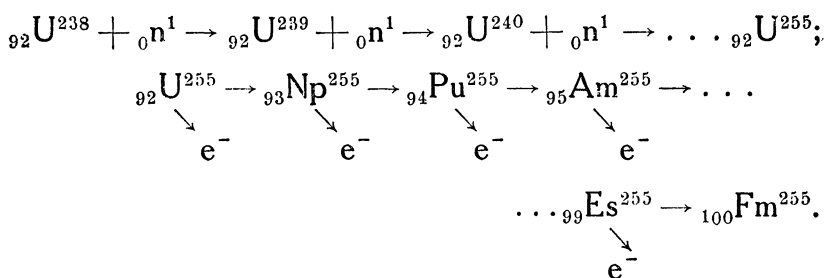
В это облако были направлены управляемые по радио беспилотные самолеты; они собирали образцы для лабораторного анализа, который позволил бы выяснить, что же происходит во время взрыва.

Лабораторные исследования показали, что мы имеем дело с совершенно необычным с научной точки зрения случаем. Уран, который входил в состав термоядерного устройства, оказался способным захватывать очень много,

до 17 (!) нейтронов. Нормальный вес урана-238 при этом возрастает до 255.

Чрезвычайно тяжелый изотоп урана подвергается радиоактивному распаду, последовательно образуя более тяжелые трансурановые элементы, включая изотопы элементов № 99 и 100.

Этот ряд реакций можно записать в сокращенном виде следующим образом:



Два новых элемента были названы в честь Альберта Эйнштейна и Энрико Ферми: элемент № 99 — эйнштейнием, а элемент № 100 — фермием. Впервые они были получены в результате отделения от огромного количества осколков, образовавшихся при взрыве.

В первую очередь необходимо было обработать химическими методами материал, полученный с фильтровальной бумаги, которая проносилась сквозь радиоактивное облако на беспилотных самолетах.

Однако, чтобы получить новые элементы в возможно бóльших количествах, исследователям пришлось переработать тонны кораллов, собранных на месте взрыва.

Открытие элементов 99 и 100, столь характерное для исследований 50-х годов нашего столетия, явилось

результатом объединенных усилий ученых. Среди участников этих исследований были А. Гиорсо, С. Дж. Томпсон, Дж. Г. Хиггинс и Г. Т. Сиборг — из Радиационной лаборатории Калифорнийского университета, девять ученых из Аргоннской национальной лаборатории: М. Г. Стьюдиер, П. Р. Филдс, С. М. Фрид, Г. Диамонд, Дж. Ф. Меч, Дж. Л. Пайл, Дж. Р. Хиценда, А. Хирш и У. М. Мэннинг и еще трое ученых из Лос-Аламосской научно-исследовательской лаборатории: К. И. Браун, Г. А. Смит и Р. У. Спенс.

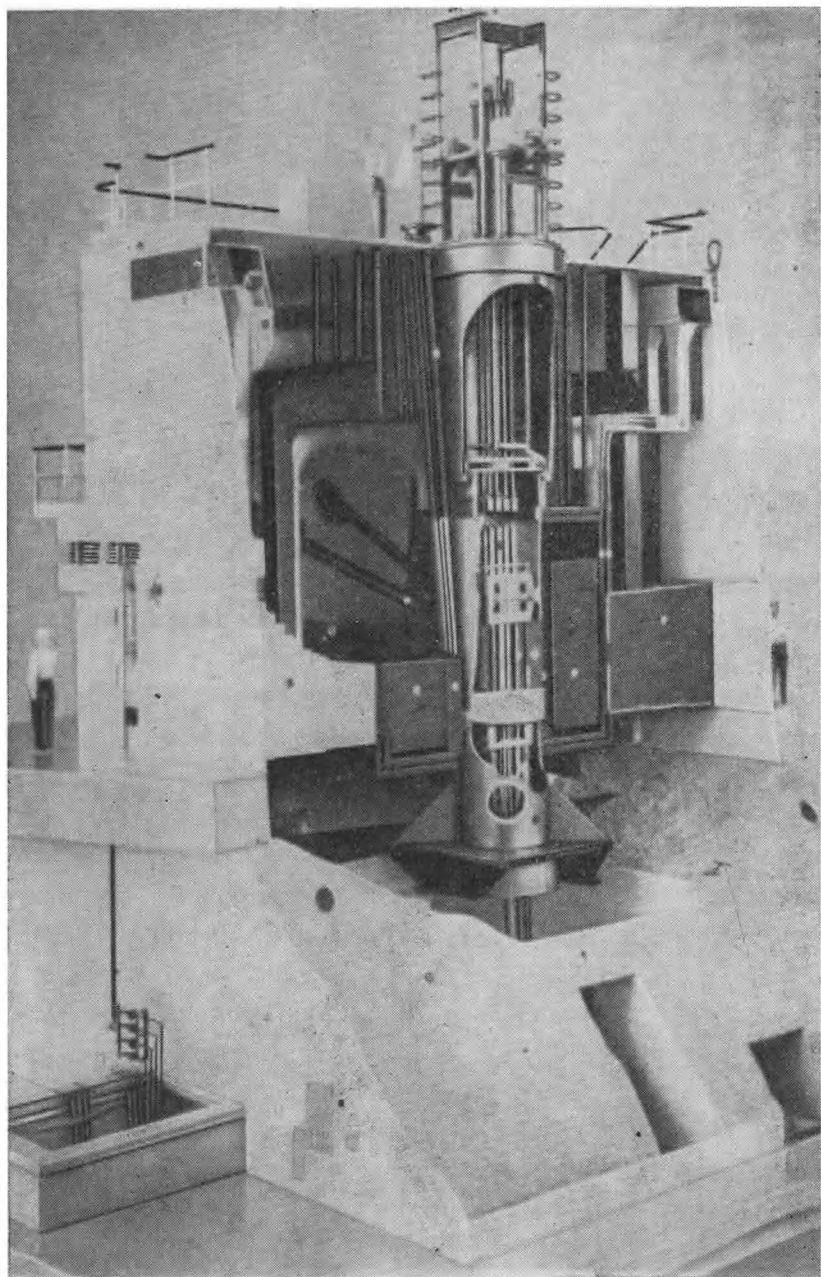
Существуют и другие способы производства тех же самых изотопов эйнштейния и фермия; один из этих методов основан на использовании ядерного реактора, в котором создается мощный поток бомбардирующих нейтронов.

Образец, предназначенный для облучения, помещается в центр котла, например «Реактора для испытания материалов» в Арко (штат Айдахо), модель которого показана на рисунке справа.

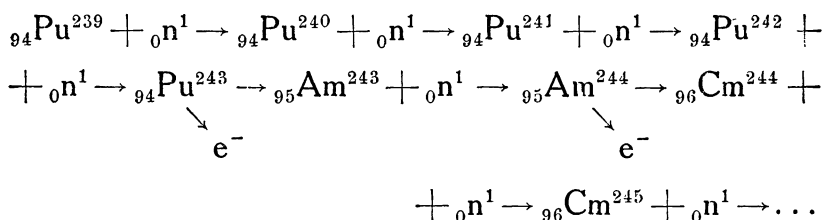
Облучаемые образцы изготавливаются в форме салфеточных колец, которые состоят из сплава плутония с другим металлом и окружены алюминиевыми чехлами.

Сплаву плутония придается форма обычного кольца для салфеток с тем, чтобы можно было отводить тепло, возникающее в результате деления ядер, охлаждая кольцо водой.

В реакторе некоторая часть плутония захватывает нейтроны и распадается в америций, который в свою очередь захватывает нейтроны и распадается в кюрий, и т. д.



Эти реакции могут быть записаны так:

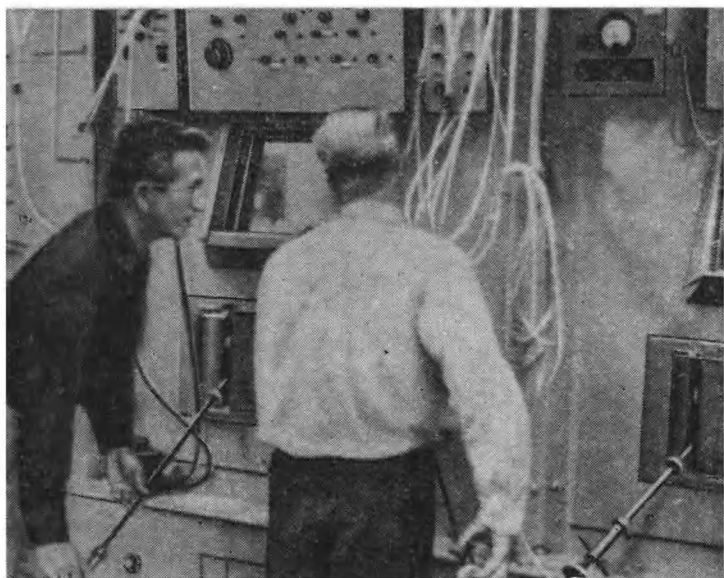
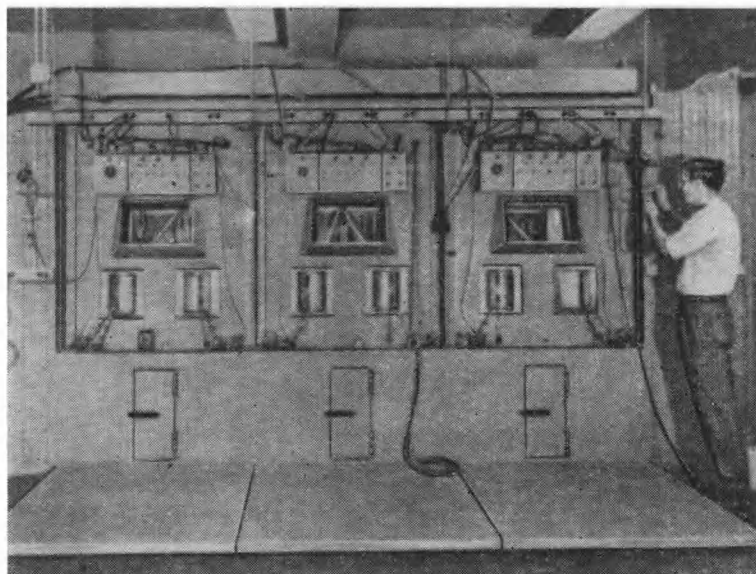


Основная разница между двумя указанными способами производства этих тяжелых элементов состоит в различной длительности процессов. В случае урана, облучаемого во время термоядерного взрыва, реакция происходит за несколько миллионных долей секунды. В случае же плутониевых «салфеточных колец» «насыщение» ядер плутония длится в течение двух и более лет; можно сказать, что изотопы из плутония получают медленным, естественным путем.

Помимо трансурановых элементов, в результате реакции деления уже самого плутония образуется громадное число продуктов деления. Эти радиоактивные продукты представляют собой изотопы различных элементов, атомные веса которых значительно меньше атомного веса урана. Их наличие приводит к возникновению сильной и опасной радиоактивности, от которой надо защищаться.

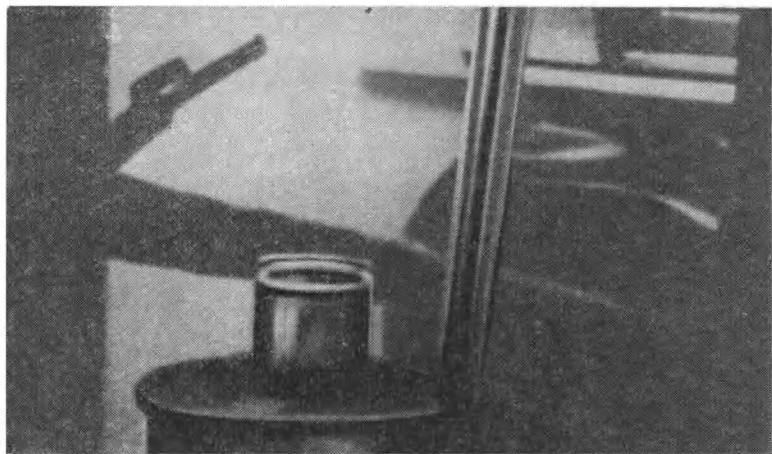
Приходится создавать специальные «горячие» лаборатории типа показанной на рисунке *экранированной камеры* в Радиационной лаборатории в Беркли.

Необходимые химические операции производятся здесь за массивным защитным экраном при помощи манипулятора (механических рук), управление которым осуществляется снаружи.

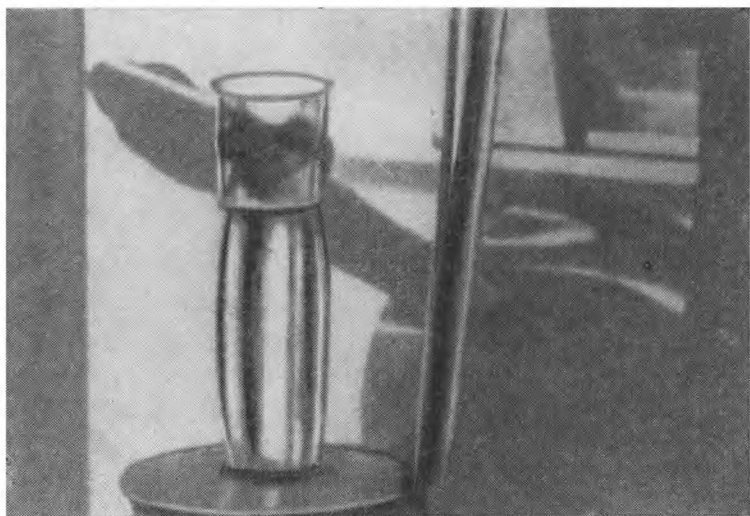


Эта экранированная камера состоит из трех отдельных металлических ящиков (боксов), в которых опасные материалы захватываются специальными двухпальными щипцами. Боксы заключены в свинцовый кожух толщиной 15 см, и в каждом боксе имеется смотровое окно, сделанное из тяжелого свинцового стекла толщиной 23 см.

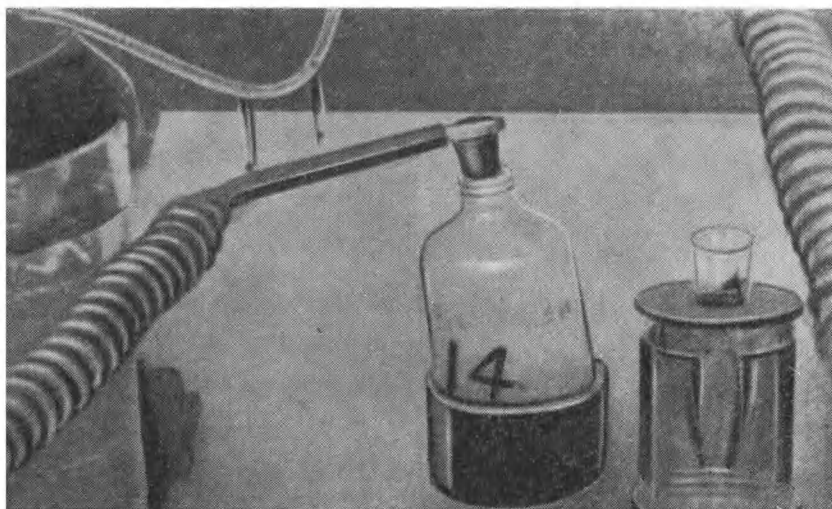
Боксы герметизированы, т. е. непроницаемы для воздуха, имеют собственную систему кондиционирования, и в них создается небольшое разрежение, чтобы радиоактивный материал не смог проникнуть наружу, даже если появится слабая течь.



Механические руки, которые служат как бы продолжением рук оператора, чрезвычайно подвижны. Они могут манипулировать с пробирками, затыкать пробками бутылки, составлять растворы, направлять световой луч, оперировать парой пинцетов и даже вытирать пролитый раствор тряпкой, находящейся здесь же в боксе.



Все это оборудование применяется для того, чтобы выделить мизерные количества редких искусственных элементов, в частности америция, берклия, эйнштейния. Они присутствуют в облученных «салфеточных кольцах»



плутония совместно с множеством сильно радиоактивных продуктов деления.

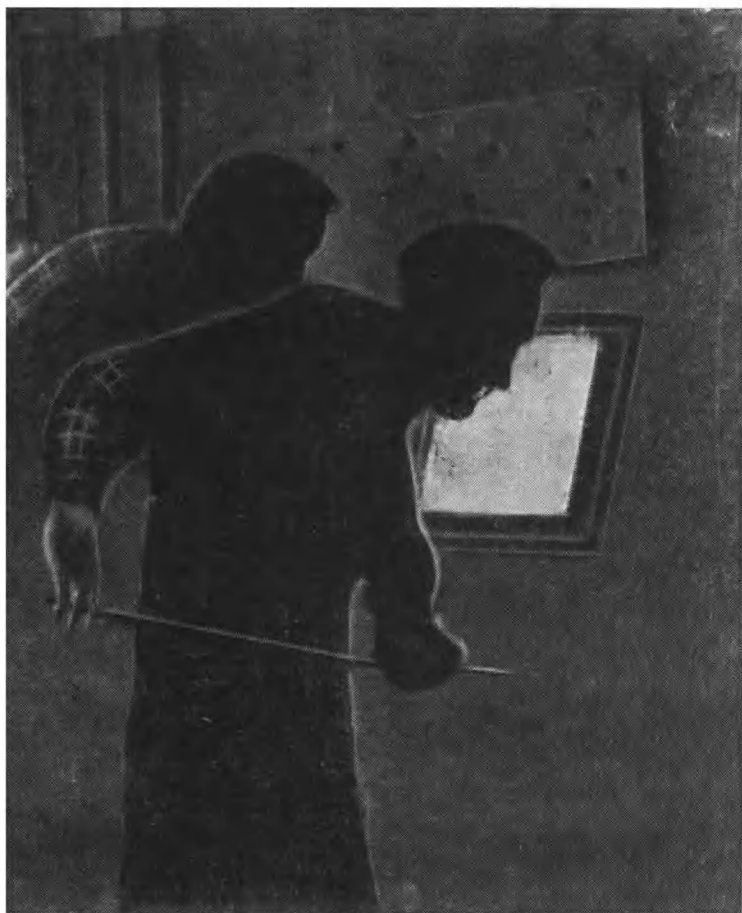
«Массовое производство» искусственных тяжелых элементов началось в Беркли в октябре 1956 г. Необходимые для этого химические операции были разработаны во всех подробностях, и химики месяцами тренировались на манипуляторах с макетами «салфеточных колец».

«Горячие» кольца приготавливались путем облучения нейтронами в реакторе в Арко в течение более двух лет. А затем их привезли в Беркли в тяжелых свинцовых



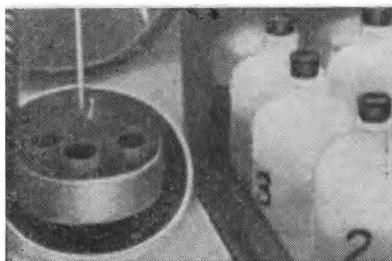
контейнерах, которые вкатили в тщательно экранированный подвал и аккуратно установили как раз под люком в днище одного из металлических боксов для химических операций.

После этого большая свинцовая дверь, ведущая в подвал, была герметически закрыта.



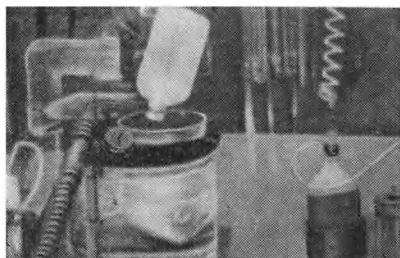
Первая операция, управление которой производится снаружи, состоит в том, что открывается люк в днище бокса. «Горячие» кольца, стоимость которых в тысячи раз превосходит стоимость того же количества золота, вынимаются из стоящего внизу свинцового контейнера и переносятся в бокс.

Затем первое кольцо захватывается щипцами и помещается в щелочной раствор, который разрушает и частич-



но растворяет его. Получившейся темной, грязного цвета жидкостью наполняют полиэтиленовые бутылки, которые отставляются в сторону, пока растворяются следующие девять колец.

Темная жидкость переливается в стеклянные конические пробирки, которые устанавливаются в центрифугу, вращающуюся со скоростью 1500 оборотов в минуту. При этом тяжелые элементы, присутствующие в растворе в виде гидроокисей, отбрасываются на дно пробирки.



Теперь встает задача химически отделить тяжелые трансурановые элементы от алюминия и всех продуктов деления, образовавшихся в результате облучения плутония.

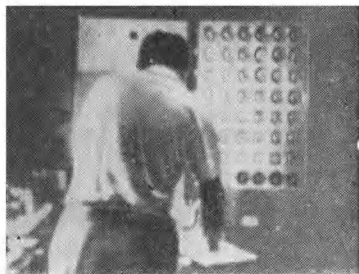
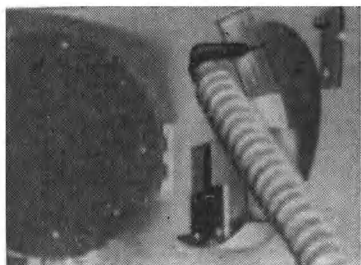
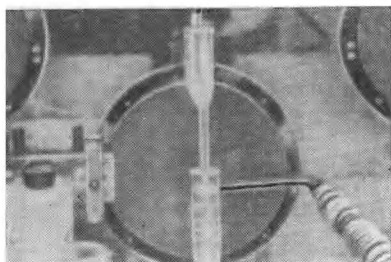
Эти продукты деления включают чуть ли не половину элементов, встречающихся на Земле, причем все

они возникли из плутония путем радиоактивного превращения ядер.

После центрифугирования более легкая часть жидкости, находящаяся в верхней части каждой из пробирок, сливается. Этот

процесс повторяется многократно, с тем чтобы получить достаточно чистый осадок, содержащий тяжелые химические элементы, и снизить уровень радиоактивного излучения, которое создается главным образом нежелательными продуктами деления.

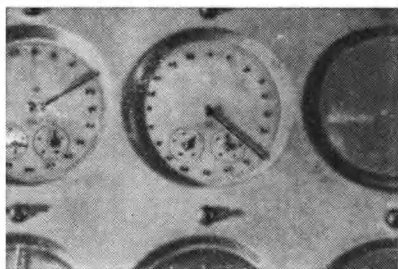
Затем осадок с тяжелыми элементами растворяется и через специальное отверстие (*шлюз*) между двумя боксами переносится в соседний бокс.



Второй бокс используется для химических операций в ионообменных колонках, что приводит в итоге к разделению различных тяжелых элементов, как это было описано на стр. 152. Раствор из первого бокса пропускается через колонку из органического вещества. Более тяжелые элементы временно остаются в колонке, а множество

продуктов деления, которые все еще присутствуют в растворе, проходит через колонку с большой скоростью.

После того, как образец оставшегося продукта наносится на специальную «счетную пластинку», изготовленную из платины, и высушивается, он испытывается при помощи импульсного анализатора.



Импульсный анализатор — прибор, который «сортует» излучение от различных радиоактивных элементов в соответствии с их энергией. Это, естественно, позволяет идентифицировать элементы, присутствующие в образце.

Импульсный анализатор связан со стрелочными или другими регистрирующими приборами на большой панели; каждый циферблат показывает число распадов атомов одного определенного элемента.

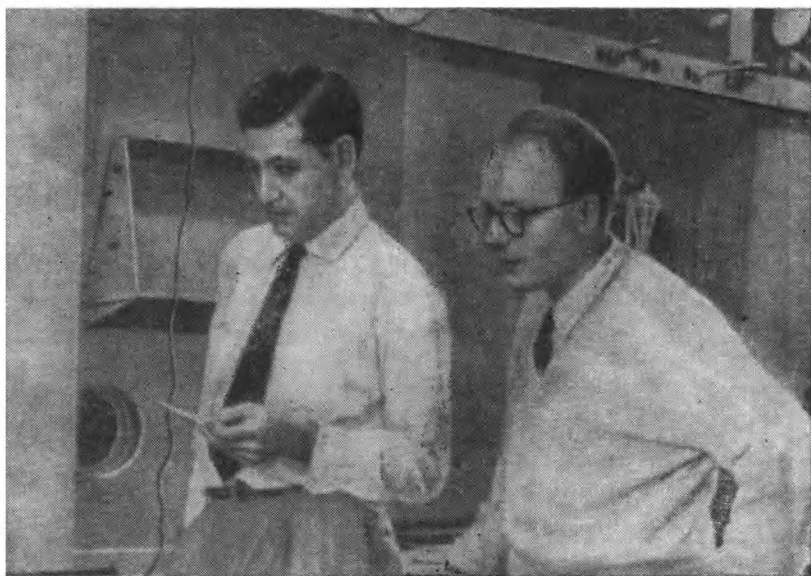
Изображенный на фото циферблат регистрирует распад даже одного-единственного атома эйнштейния, элемента с номером 99, который был выделен в октябре 1956 г. описанным здесь способом.

Эйнштейний, производившийся в предшествующие годы аналогичным образом, но с меньшим «размахом работ», был затем подвергнут бомбардировке ядрами гелия в полутораметровом циклотроне; в результате впервые

были получены атомы элемента с атомным номером 101.

Открытие менделевия, 101-го элемента, потребовало чудовищной гонки у группы химиков, участвовавших в работе, так как менделевий имеет период полураспада всего лишь около получаса. Это была действительно «химия на бегу»!

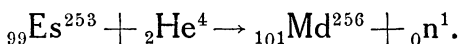
Менделевий был получен и идентифицирован в Беркли в начале 1955 г. Альбертом Гиорсо, Бернардом Дж. Гарвеем, Грегори Р. Чоппином, Стенли Дж. Томпсоном и Гленом Т. Сиборгом.



Об этом открытии, о методах, которые применяются при изготовлении чего-то нового, не существовавшего до сих пор в природе, расскажут Гиорсо и Гарвей (см. фото), Чоппин и Томпсон.

Погоня за 17 атомами

Новый элемент — менделевий был получен путем бомбардировки эйнштейния, 99-го элемента, ядрами гелия. Ядерная реакция предельно проста:



Мы осуществили ее в циклотроне, где пучок ядер гелия ударяется о небольшую мишень.

Мишень — это кружочек очень тонкой золотой фольги, на заднюю поверхность которой нанесен электролитическим способом неразличимый простым глазом слой эйнштейния — не более чем несколько миллиардов атомов.

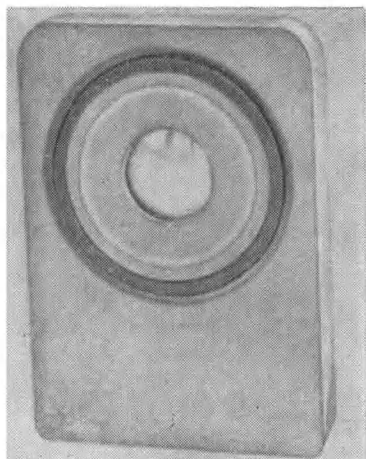
Если некоторые атомы эйнштейния превратятся в результате бомбардировки в менделевий, то они должны покинуть мишень, будучи выбиты из нее при соударении с ядрами гелия.

Позади мишени распо-

ложена еще одна золотая фольга, которая захватывает атомы нового элемента, как только они вылетают из мишени.

Как мишень, так и «ловушка» помещены в специальную обойму, которая устанавливается внутри циклотрона на пути бомбардирующих частиц.

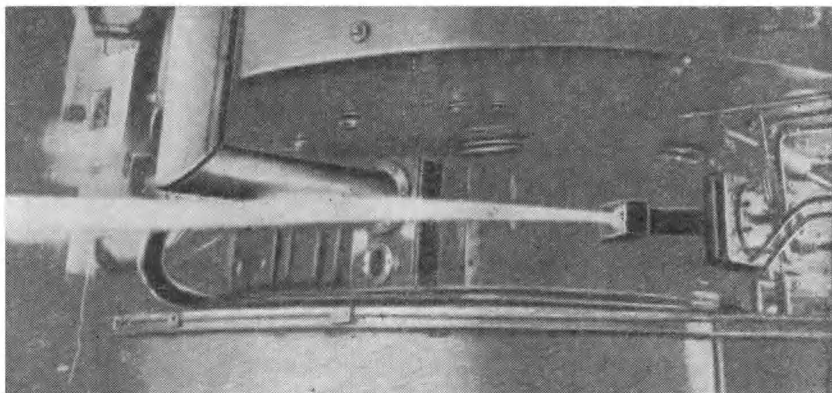
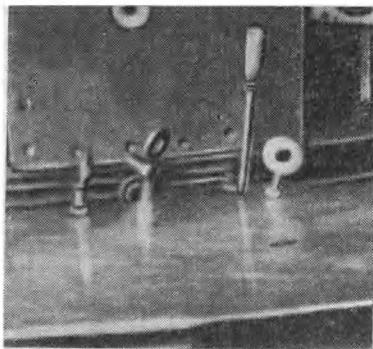
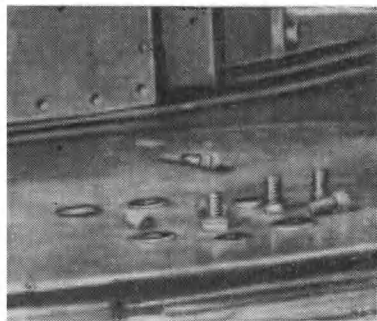
Ядра гелия, обладающие большой скоростью, были получены на старом полутораметровом циклотроне, рас-



положенном на спортивной площадке Калифорнийского университета в Беркли.

Магнит циклотрона, заставляющий ускоряемые ядра гелия двигаться по спиральной орбите, является настолько сильным, что заставляет отвертку вертикально стоять на своем острие или же тяжелые железные шайбы висеть в воздухе.

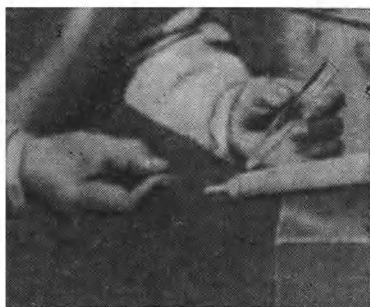
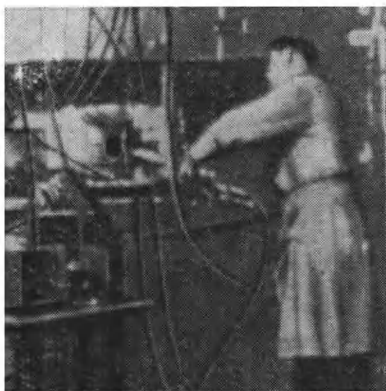
Если позволить мощному потоку ядер гелия пройти мимо мишени и выйти наружу, в воздух, то его можно увидеть — это узкий голубой пучок света. Его даже можно сфотографировать через полутораметровый слой воды, который



служит смотровым окном, ведущим в помещение, где расположен циклотрон. Это и есть тот самый пучок, который падает на мишень и, прибавляя два протона гелия к 99 протонам эйнштейния, превращает последний в менделевий.

В реальных условиях эксперимента — который мы воспроизвели, чтобы запечатлеть его на этих фотографиях — во время бомбардировки мишени все помещение, где расположен циклотрон, было наглухо закрыто. Гарвей и Гиорсо находились снаружи, за «водяной дверью» — большим баком на роликовых катках, наполненным водой.

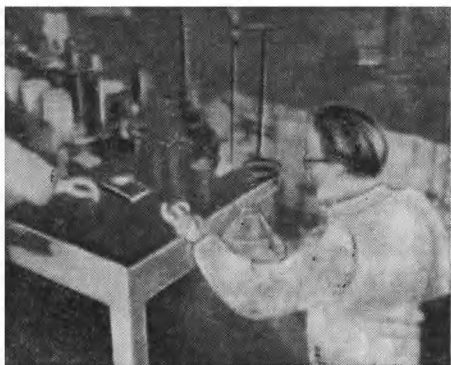
Оставалось лишь ожидать стартового выстрела, чтобы начать эту необычную скачку с препятствиями. Мы рассчитывали в нашем первом опыте получить всего только один или, может быть, два атома 101-го элемента. И эти один или два атома нужно было выделить из миллиардов атомов эйнштейния и идентифицировать менее чем за полчаса.



Как только был подан сигнал отбоя, Гарвей и Гиорсо немедленно отодвинули «водяную дверь» и ринулись внутрь. Гиорсо быстро вынул из мишени обойму. Гарвей снял двумя пинцетами вторую золотую



фольгу и закинул ее в пробирку. Затем он помчался по коридорам и вверх по лестницам в комнату, предназначенную для временной лаборатории. В этой, с позволения сказать, лаборатории Гарвей передал фольгу Грегори Чоппину, который стал нагревать ее в растворе, с тем чтобы золото растворилось.



В итоге мы получили жидкость, содержащую золото, смесь некоторых других элементов и, возможно, несколько атомов менделевия, как мы называли его позднее.



Остальные необходимые химические операции надо было производить за милю от циклотрона, на вершине холма, в Радиационной лаборатории.

Гиорсо уже сидел за рулем автомашины возле здания циклотрона, готовый сорваться с места и с бешеной скоростью мчаться на холм.



У нас имелось — мы надеялись, что это так — несколько атомов элемента № 101, и наша задача заключалась в том, чтобы выделить и идентифицировать их раньше, чем они успеют распасться.

Менделевий является настолько короткоживущим элементом, что половина любого количества его распадается приблизительно за полчаса, превращаясь в изотоп фермия, кото-



рый в свою очередь распадается путем самопроизвольного (спонтанного) деления.

Драгоценные капли раствора были привезены на холм Беркли в корпус ядерной химии. Чоппин и Гарвей бросились в лабораторию, где их ожидал Стенли Томпсон с аппаратурой, предназначенной для отделения 101-го элемента от эйнштейния, золота и всех других элементов, которые могут присутствовать в растворе.

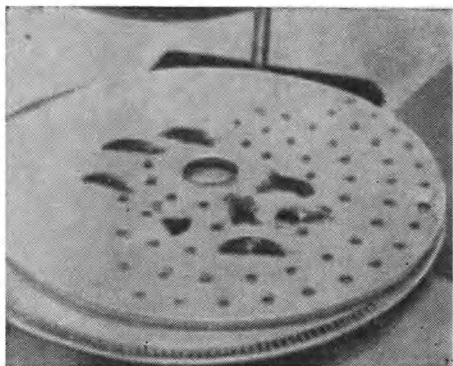


Вначале жидкость была пропущена через ионообменную колонку, чтобы избавиться от золота. Золото задерживается в колонке, в то время как раствор, содержащий менделевий, капает со дна ее.



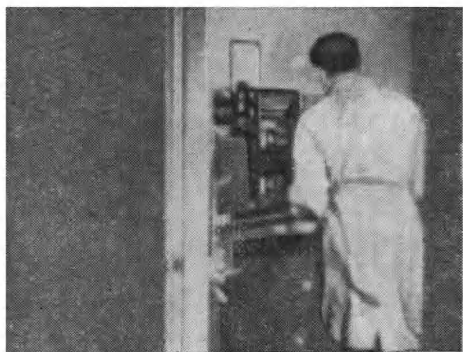
Эти капли были высушены и вновь растворены, после чего Томпсон пропустил их через вторую колонку для отделения менделевия от любых других элементов, которые все еще могли оставаться в растворе.

Эти капли, падающие со дна колонки, последовательно принимались на небольшие платиновые пластинки, которые затем подставлялись под нагреватель-

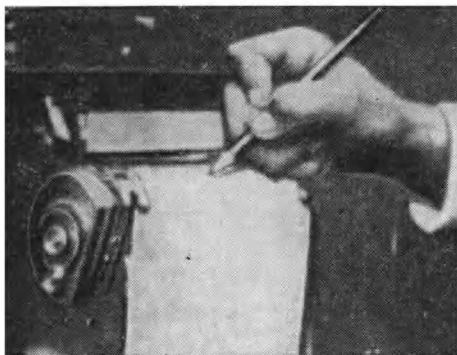


ную лампу и высушивались.

Далее пластинки были перенесены в «счетную комнату», где Гиорсо поместил их в специальные счетчики — каждую пластинку в свой счетчик.

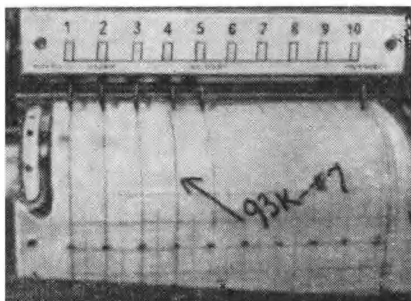


Если какое-то количество менделевия присутствовало в одной из исследуемых капель, то его можно было бы выявить по характеру радиоактивного распада. Когда атом нового элемента распадается, то образовавшиеся при этом осколки создают в счетчике «вспышку» сильной ионизации. Этот импульс тока вызывает скачок пера на регистрационной карточке записывающего прибора.



Характерным для этих неуловимых тяжелых элементов является то, что мы не можем положительно идентифицировать атом до тех пор, пока он не перестанет быть именно этим элементом и не распадется в какой-то иной атом. Это несколько напоминает человека, который считает деньги только тогда, когда расстаётся с ними.

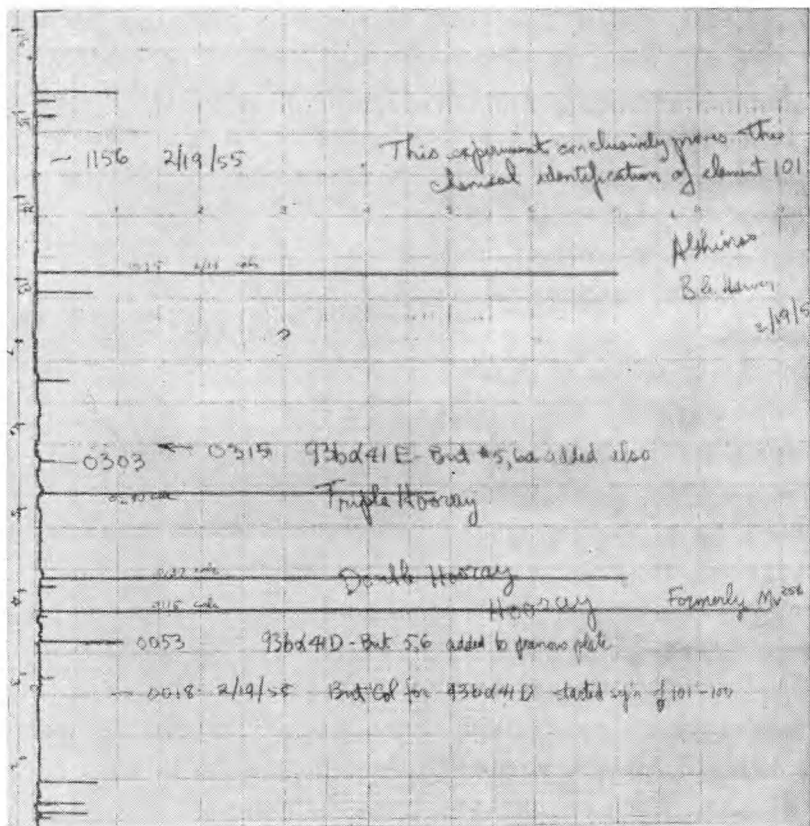
Во время первого эксперимента нам пришлось ждать больше часа, прежде чем перо подскочило до середины шкалы и упало обратно, нарисовав линию, что означало распад впервые открытого атома менделевия.



Поскольку произошло чрезвычайное событие в жизни Радиационной лаборатории, мы подключили к счетчикам пожарный звонок, находящийся в коридоре, так что каждый раз, когда распадался атом элемента № 101, раздавался сигнал тревоги.

Это был наиболее эффективный способ оповещения о важном событии в мире атомного ядра, но вскоре он был заменен более совершенным средством, не противоречившим предписаниям пожарной охраны.

Мы обнаруживали приблизительно по одному атому менделевия в каждом из наших первых экспериментов. Было поставлено около дюжины опытов, и наш общий итог составил 17 атомов нового элемента.



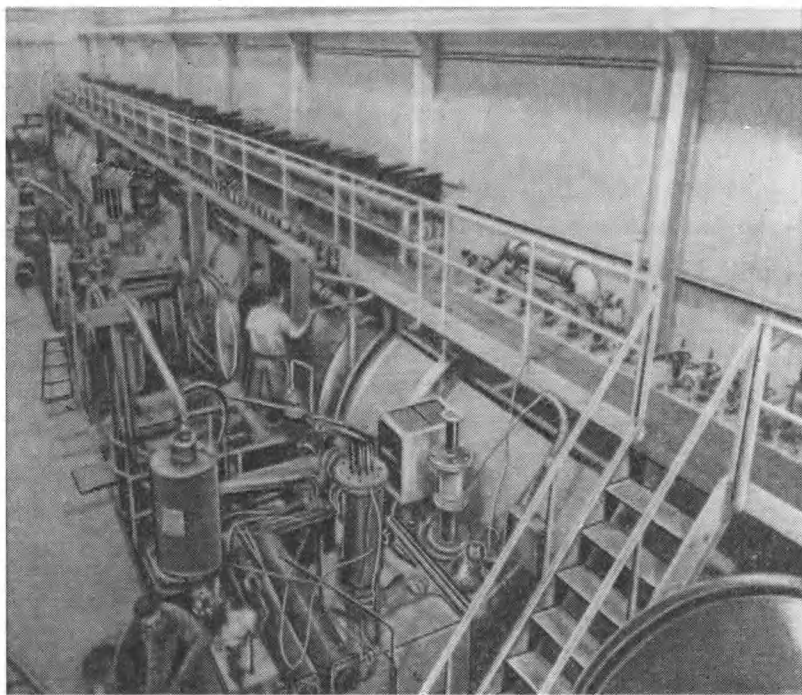
Здесь воспроизведена регистрационная карточка первого эксперимента, на которой зафиксирован распад впервые полученного и идентифицированного атома менделевия. (Альберт Гиорсо, Бернард Гарвей, Грегори Чоппин, Стенли Томпсон.)

Об открытии элемента № 102 появилось первое сообщение в Нобелевском институте физики (Стокгольм) в 1957 г., но эксперименты, которые были поставлены с целью подтвердить это открытие, оказались неудач-

ными. Однако этот элемент был получен и положительно идентифицирован в Радиационной лаборатории (Беркли) в апреле 1958 г. Его удалось получить путем бомбардировки кюрия (имеющего в своем ядре 96 протонов) ионами углерода (в состав которого входят 6 протонов).

Образующийся в результате элемент № 102 обладает атомным весом 254 и имеет период полураспада около трех секунд.

Бомбардировка производилась на новом линейном ускорителе тяжелых ионов в Беркли — «Хайлеке». Само название «линейный ускоритель» говорит о том, что он ускоряет частицы, движущиеся по прямой линии, а не по круговым траекториям, как это имеет место в циклотроне или бэватроне.



Неоткрытые элементы

Очевидно, химики, работающие в области атомного ядра, будут продолжать свои попытки получить новые искусственные элементы с атомными номерами, превышающими 102.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba	La Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac-103	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(113)	(114)	(115)	(116)	(117)	(118)
Lanthanides		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu	
Actinides		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(102)	(103)	

Элемент № 103 завершит актинидный ряд тяжелых редкоземельных элементов. Этот элемент по своим химическим свойствам должен быть похож на редкоземельный элемент лютеций.

Затем мы перейдем к 104-му элементу, который должен расположиться за актинидной группой и войти в семейство элементов, в которые входят гафний, цирконий и титан.

Аналогичным образом, 105-й элемент должен химически походить на тантал, ниобий и ванадий. Еще более тяжелые элементы, вплоть до № 118, должны заполнить остальные клетки в том же горизонтальном ряду периодической таблицы.

Конечно, вряд ли можно рассчитывать создать многие из этих элементов, так как каждый более тяжелый элемент является менее стабильным.

Но, по-видимому, удастся синтезировать элементы вплоть до № 104 или 105, причем они, вероятно, будут иметь период полураспада, достаточно большой, чтобы их можно было химически идентифицировать.

Еще некоторые из указанных элементов, видимо, можно идентифицировать, но более сложными методами.

Как эти более тяжелые искусственные элементы будут получены?

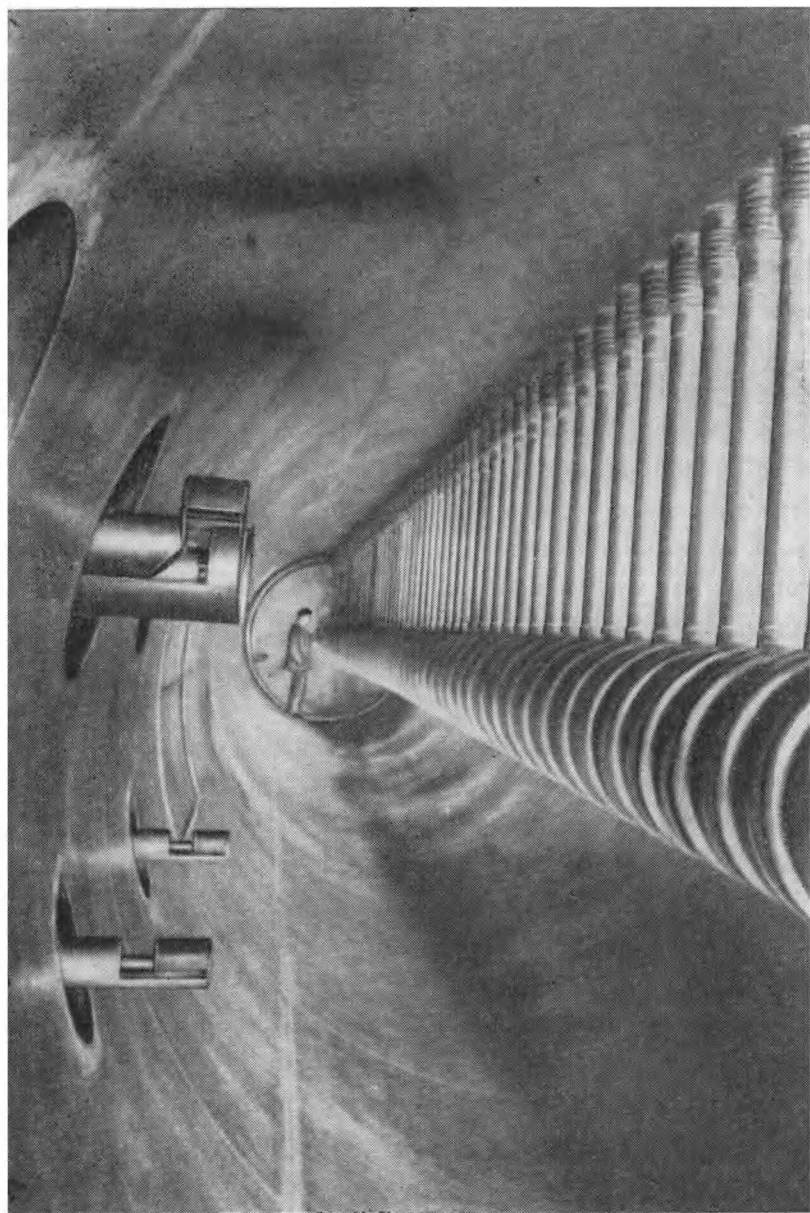
Наиболее вероятным кажется применение в качестве бомбардирующих частиц тяжелых ионов, как это имело место в случае элемента № 102.

Вместо обычных ионов, или ядер, гелия с двумя протонами мы можем воспользоваться ионами азота: 7 протонов азота, прибавленные, например, к кюрию, в ядре которого имеется 96 протонов, приведут к элементу № 103.

Или предположим, что мы используем неон. Если бомбардировать плутоний ионами неона, то 10 протонов последнего вместе с 94 протонами плутония дадут элемент № 104.

Именно таким путем 96 протонов кюрия плюс 6 протонов углерода дали нам первые атомы элемента № 102.

В ряде лабораторий построены ускорители, специально предназначенные для получения таких тяжелых ионов. Примером может служить ускоритель «Хайлек» в Беркли, в котором можно бомбардировать мишень тяжелыми частицами, например ионами неона или даже еще более тяжелыми.



В подобной машине, естественно, необходима вакуумная камера значительного размера, такая, как на этой фотографии, изображающей внутреннюю область ускорителя «Хайлек». В этой вакуумной камере пролетает поток бомбардирующих частиц во время их ускорения.

При наличии таких ускорителей ученые надеются открыть еще несколько новых элементов и расширить наши знания о природе атомов и атомных ядер.

Наука не стоит на месте (Дополнение переводчика)

За годы, прошедшие с момента создания этой книги, в физике и химии трансурановых элементов произошли новые важные события. Главные из них — получение элементов с атомными номерами 103 и 104.

Честь открытия 103-го элемента принадлежит сотрудникам Радиационной лаборатории в Беркли (США) А. Гиорсо, Т. Сиккеланду, А. Ларшу и Р. Латимеру. В апреле 1961 г. эти ученые поставили исключительно тонкий и остроумный эксперимент.

Говоря о перспективах синтеза 103-го элемента, Сиборг и Вэлленс указали (см. стр. 187) как возможный вариант реакции слияние ядра азота с ядром кюрия: 7 протонов азота плюс 96 протонов кюрия дадут в сумме 103 протона, т. е. ядро 103-го элемента.

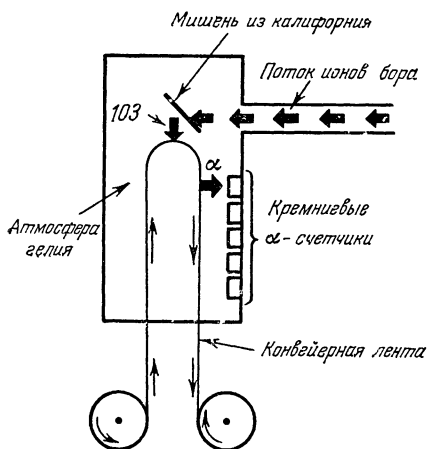
А. Гиорсо и его сотрудники воспользовались другой реакцией. Они бомбардировали калифорний ионами бора, которые были предварительно «разогнаны» в линейном ускорителе «Хайлек».

Как уже было сказано, калифорний — искусственный трансурановый элемент с атомным номером 98, а бор — широко распространенный элемент, имеющий атомный номер 5. Если ядра этих двух элементов сольются, то в результате возникнет элемент с атомным номером 103 ($98 + 5 = 103$).

В распоряжении ученых имелось всего-навсего 3 микрограмма, т. е. 3 миллионные доли грамма, калифорния. Это мизерное количество калифорния было нанесено на кружочек из никеля толщиной в полторы тысячных миллиметра. Если сложить 500 таких кружков, то стопка будет иметь толщину копеечной монеты. И никель, и сам калифорний подверглись очень тщательной химической очистке, чтобы удалить из них любые посторонние вещества.

Никелевый диск с калифорнием — так называемая «мишень» — облучался потоком ионов бора. Атомы, обра-

зующиеся в результате ядерной реакции, обла- дают довольно значи- тельной энергией. Они соскакивают с мишени и попадают в простран- ство, заполненное гели- ем, который медленно протекает через камеру, унося с собой эти атомы от мишени; заряженные атомы прилипают к мед-



ной конвейерной ленте, находящейся внутри камеры.

Как же обнаружить эти атомы? Теоретические расчеты показали, что 103-й элемент должен быть альфа-радио-

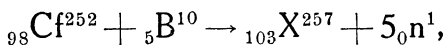
активным. Очевидно, его и можно идентифицировать по испускаемым им альфа-частицам. Для регистрации альфа-частиц были использованы новейшие детекторы (регистраторы) — кремниевые счетчики.

Конвейерная лента внутри камеры время от времени перемещалась на небольшое расстояние, и прилипшие к ней атомы оказывались перед одним из счетчиков, аналогично тому, как кадры киноленты, движущейся в проекторе, оказываются перед объективом.

В результате было обнаружено, что в течение часа вылетает несколько альфа-частиц. Но кому они принадлежат? Может быть, их испускают изотопы уже известных элементов?

Чтобы доказать, что это не так, ученые провели поистине титаническую работу: они последовательно облучали ионами бора огромное множество изотопов различных элементов (свинца, висмута, плутония, америция и др.), пока не убедились, что подобные альфа-частицы не испускает ни один из них — они могут принадлежать только новому элементу с атомным номером 103.

По всей видимости, в мишени происходит реакция типа



т. е. при образовании ядра 103-го элемента вылетает 5 избыточных нейтронов.

А. Гиорсо и его сотрудники предложили назвать новый элемент лоуренсием (Lw) в честь основателя Радиационной лаборатории лауреата Нобелевской премии Э. О. Лоуренса.

Так был открыт 103-й элемент, замыкающий собой ряд актинидов в таблице Менделеева.

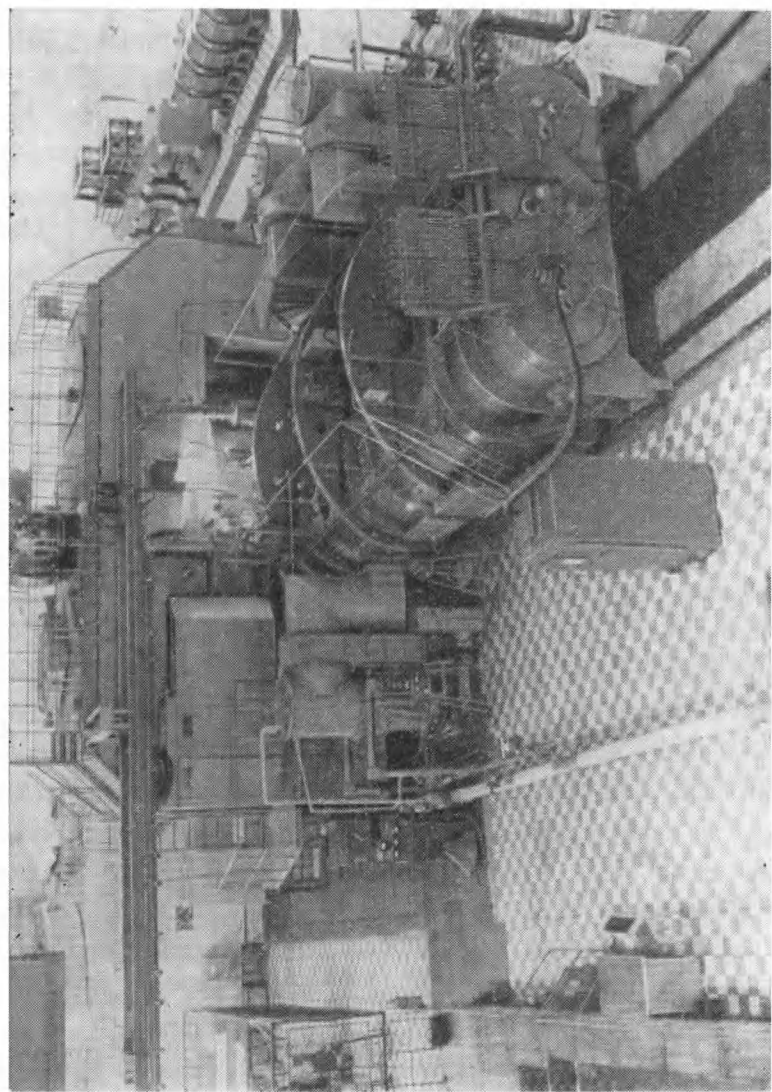
На повестку дня стал вопрос об открытии или, точнее, создании 104-го элемента, который должен занимать уже новую клетку в периодической системе и, следовательно, должен обладать физическими и химическими свойствами, отличными от свойств всех предыдущих трансурановых элементов.

Эту исключительно сложную задачу выполнила в 1964 г. группа ученых из Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) во главе с членом-корреспондентом АН СССР Г. Н. Флеровым.

Как предполагал Г. Т. Сиборг, наиболее подходящей реакцией для синтеза 104-го элемента является слияние ядра плутония, имеющего 94 протона, с ядром неона, содержащего 10 протонов ($94 + 10 = 104$). Однако осуществить такую реакцию чрезвычайно трудно.

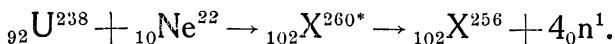
Ведь любые ядра обладают положительными зарядами, а одноименные заряды, как известно, отталкиваются, причем чем выше заряд, тем сильнее это отталкивание. Даже протон с огромным трудом удастся приблизить к тяжелому ядру — для этого ему надо сообщить колоссальную скорость. Что же говорить о ядре неона, заряд которого в десять раз выше, чем у протона?

К этому надо добавить, что ядра таких сравнительно тяжелых элементов, как неон, очень трудно «разгонять» в ускорителях. В Дубне для этих целей был построен мощный ускоритель многозарядных ионов (кислорода, неона, аргона, кальция), причем даже не линейный ускоритель (как «Хайлек»), а 300-сантиметровый циклотрон. Интенсивность потока частиц в нем приблизительно в 100 раз выше, чем в любых других аналогичных ускорителях, существующих в мире. Это уникальное сооружение можно видеть на помещенной здесь фотографии.



Об истории многолетних исканий, кропотливых экспериментов и нелегких побед на пути создания 104-го элемента рассказали сотрудники Объединенного института ядерных исследований в г. Дубне Г. Н. Флеров, В. А. Друин, Ю. Ц. Оганесян, С. М. Поликанов, Е. Д. Донец и И. Звара, принимавшие непосредственное участие в создании 104-го элемента.

Открытию 104-го элемента предшествовали другие важные исследования, проведенные при помощи этого циклотрона. Например, был синтезирован изотоп 102-го элемента с атомным весом 256. Для этого бомбардировали ионами неона ядра урана-238:



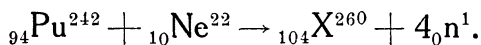
Несмотря на наличие мощного пучка ядер неона и практически неограниченных ресурсов урана-238 (в отличие, скажем, от калифорния в случае синтеза 103-го элемента), осуществить такую реакцию все же чрезвычайно трудно. Ведь при слиянии ядер урана и неона вначале образуются сильно возбужденные, а потому весьма неустойчивые ядра ${}_{102}\text{X}^{260*}$ (на возбуждение указывает звездочка), которые в 99 случаях из 100 предпочитают делиться, а не испускать нейтрон. Только приблизительно 1% таких ядер выбросит нейтрон и превратится в ядра ${}_{102}\text{X}^{259*}$.

Последние также оказываются сильно возбужденными и, как правило, делятся на два осколка примерно с равными массами, выходя, таким образом, из игры. Менее 1% из них выбрасывает нейтрон и превращается в ядра ${}_{102}\text{X}^{258*}$, и так далее. В общем, из ста миллионов образовавшихся первоначально ядер ${}_{102}\text{X}^{260*}$ только одно «доживет» до превращения в нужное нам ядро ${}_{102}\text{X}^{256}$.

Но впереди была еще одна трудность. Как обнаружить, идентифицировать эти ядра? Ведь выделить их химическим путем практически невозможно, так как они живут всего несколько секунд, превращаясь в результате альфа-распада в ядра 100-го элемента — фермия. Поэтому вполне логично было регистрировать именно ядра фермия, который достаточно хорошо изучен, а уже по ним исследовать свойства 102-го элемента.

Практически так и поступили. Удалось узнать кое-что интересное о новом изотопе, в частности установить, что период самопроизвольного (так называемого спонтанного) деления его (на два примерно равных осколка) составляет более 1000 секунд, тогда как по теоретическим расчетам эта величина предполагалась равной одной сотой доле секунды. Расхождение в 100 000 раз! Одно это ясно показывает, насколько несовершенны еще наши знания свойств вещества в области трансурановых элементов.

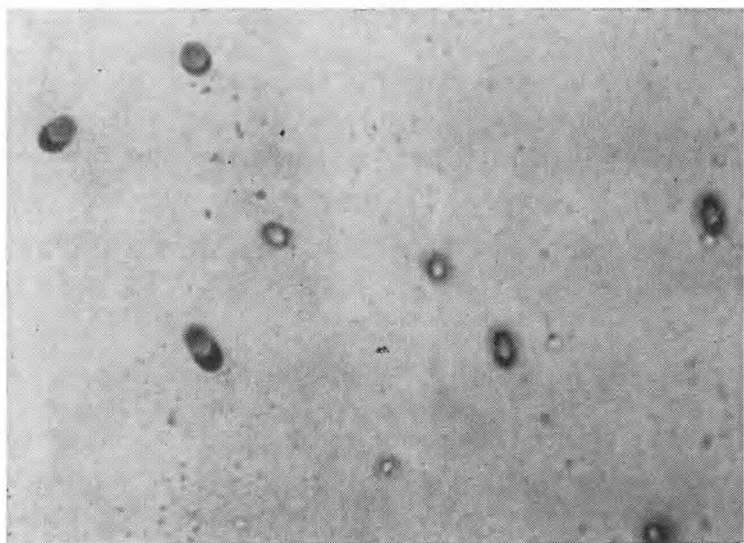
Многолетние исследования, проводившиеся на ускорителе многозарядных ионов, накопленный опыт позволили, наконец, приступить к практическому решению новой важной задачи — синтезу 104-го элемента. Для этой цели, как мы уже говорили, была использована реакция:



По сравнению с синтезом изотопа ${}_{102}\text{X}^{256}$ здесь возникают еще две дополнительные трудности. Во-первых, вероятность образования ядер 104-го элемента в 10—100 раз меньше, а значит, методика должна обеспечивать еще более высокую чувствительность, хотя и пре-

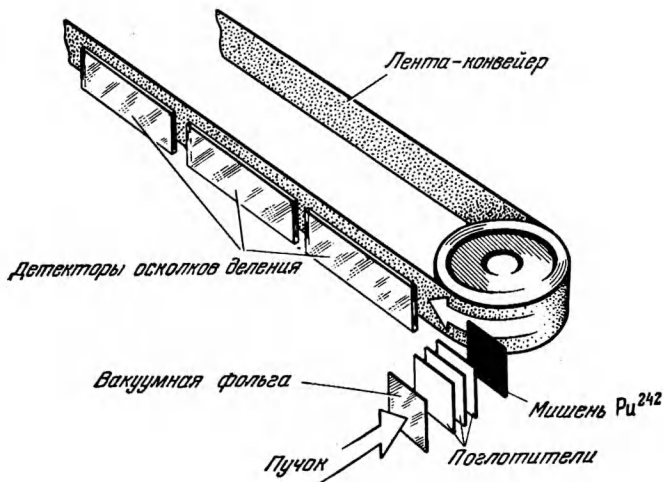
дыдущая была, что называется, «на пределе». Во-вторых, возникшие ядра стремятся быстро распасться, причем именно путем спонтанного деления. Следовательно, нужно найти такой детектор, который фиксировал бы только осколки деления и был бы абсолютно нечувствительным к другим частицам.

Как ни странно, этим чудесным свойством обладают простые материалы — слюда, стекло и некоторые другие. Оказывается, когда вблизи поверхности стеклянной пластинки произошло деление ядра на два осколка, эти осколки, влетая в стекло, оставляют узкие каналы. Если эти каналы протравить кислотой, на поверхности стекла образуются «кратеры» диаметром 5—10 микрон, которые легко видны под микроскопом (приведенная нами фотография получена при 500-кратном увеличении).



Стеклянные детекторы регистрируют до 80% осколков деления и вместе с тем на них не оказывают никакого влияния более легкие частицы. Это позволило фиксировать очень редкие события спонтанного деления в условиях громадного фона помех — других радиоактивных излучений, возникающих в ускорителе.

Правда, не всякое стекло годится для изготовления детекторов. В обычном стекле имеется примесь урана, хотя и незначительная, но весьма опасная в столь тонком опыте. Ведь ядра урана сами способны к делению, и возникающие при этом осколки могут испортить картину — эксперимент был бы, как говорят физики, «грязным». Поэтому пришлось использовать специальное фосфатное стекло или лавсан, в котором содержание урана значительно меньше. Заметим, кстати, что специальному отбору и предварительному испытанию подверглись также материалы, применявшиеся и для других деталей экспериментального устройства.



На рисунке схематически изображено это устройство. Поток ускоренных ионов бомбардирует тонкий слой плутония-242, нанесенного на алюминиевую фольгу толщиной 6 микрон. Новые ядра, образующиеся при слиянии ядер неона и плутония, вылетают из мишени и попадают на конвейерную ленту, изготовленную из никелевой фольги. Эта лента выносит ядра из зоны облучения и протягивает их мимо детекторов — стеклянных пластинок, расположенных вдоль ленты на длине 4 метра.

Ядра, проходя мимо детекторов, распадаются и оставляют на поверхности стекла следы. Последовательно просматривая под микроскопом эти детекторы и зная скорость движения ленты, можно определить период спонтанного деления вновь образовавшихся ядер. Он оказался равным 0,3 секунды, т. е. за три десятые секунды половина новых ядер распадается. А их и без того образуется слишком мало, поэтому в каждом опыте приходилось проводить облучение непрерывно в течение 50—60 часов.

Но исследования не исчерпывались описанным опытом. Предстояло еще доказать, что ядра, делящиеся с периодом 0,3 секунды, являются именно ядрами 104-го элемента или, что то же самое, не принадлежат никакому другому элементу.

У нас, к сожалению, нет возможности подробно рассказывать обо всех прямых и косвенных «уликах», которые позволили утвердиться в мнении: да, синтезированы ядра 104-го элемента!

Нужно сказать, что все эти «улики» носят физический, а не химический характер. А ведь очень интересно выяснить, каковы химические свойства нового элемента.

Эта задача пока еще не решена, хотя подход к ней как будто наметился.

По теории Г. Т. Сиборга, о которой подробно рассказано в разделе «Выход из тупика», 104-й элемент уже не входит в группу актинидов, а должен быть химическим аналогом элемента IV группы периодической таблицы — гафния, быть, так сказать, эка-гафнием. Иначе говоря, он должен вступать в такие же реакции, образовывать такие же соединения, как и гафний. Вот это-то и предстоит проверить.

Чтобы провести химический опыт со 104-м элементом, в распоряжении ученых имеются какие-нибудь десятые доли секунды. Как правило, химики предпочитают работать с растворами соединений. Но ведь только для простого перемешивания раствора нужны по крайней мере секунды. Поэтому, очевидно, от растворов придется отказаться и обратиться к газообразным веществам — они быстро смешиваются, легко и быстро транспортируются по трубам, реакции в газах могут идти с огромными скоростями.

Известно, что гафний образует летучие соединения, например четыреххлористый гафний и другие. Аналогичные соединения должен, по-видимому, образовывать и эка-гафний, в отличие от лантанидов и актинидов, которые не дают летучих соединений. Это свойство, очевидно, и нужно использовать для доказательства того, что 104-й элемент является эка-гафнием и резко отличается от актинидов.

Предлагается следующая схема опыта. Атомы 104-го элемента, возникшие в результате описанной выше реакции, вылетают из мишени и попадают в газовый поток, несущий с собой свободный хлор. Энергично взаимо-

действуя с хлором, эти атомы дадут молекулы тетрахлорида.

Но этих молекул очень мало. Чтобы не растерять их, в газ добавляются пары четыреххлористого гафния (HfCl_4) — химического «родственника» предполагаемого соединения 104-го элемента.

Другие атомы, в частности атомы актинидных элементов, тоже будут хлорироваться и давать соответствующие соединения, но это нелетучие вещества и они сразу же прилипнут к любой поверхности. Молекулы же четыреххлористого эка-гафния (как и гафния) будут уноситься с потоком и попадут в камеру, где установлены детекторы спонтанного деления ядер. Распадаясь, ядро атома 104-го элемента дает знать о том, что этот атом прошел весь путь от мишени до детектора, т. е. он вел себя химически таким же образом, как и гафний.

На весь этот химический процесс — получение соединения, удаление мешающих элементов и соединений, перенос от мишени к детектору — требуется всего только десятая доля секунды.

Именно таким образом можно было бы доказать на первых порах, что 104-й элемент ведет себя, как гафний, а впоследствии попытаться изучить химические свойства его летучих соединений более тщательно. Не исключено, что аналогичные методы годятся и для выяснения химических свойств следующих за 104-м элементом, которые также дают летучие соединения. Если же в будущем удастся получить более долгоживущие изотопы, то химикам будет легче — они смогут использовать обычные химические и радиохимические методы.

Итак, со дня открытия первых трансурановых элементов — нептуния и плутония — прошло немногим бо-

лее 25 лет, а мы имеем уже 12 трансурановых элементов. Конечно, создание каждого из них потребовало огромных усилий от ученых, причем трудности неимоверно возрастают по мере продвижения в область все более тяжелых элементов. Но можно не сомневаться, что нам предстоит увидеть еще немало интересных и важных открытий на этом пути.

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

Все чудеса, происходящие с химическими элементами, о которых мы узнали в предыдущих главах, бледнеют по сравнению с удивительным сочетанием элементов, которое составляет планету Земля.

Широкая распространенность одних элементов и мизерные количества других, причудливые способы смешения и соединения элементов, а также тот факт, что элементы нашей атмосферы не рассеиваются в пространство, — таковы естественные «случайности», сделавшие нашу планету тем редким осколком Вселенной, на котором возможна жизнь.

Все, что изображено на этой фотографии, — облако над Мексикой, Тихий океан на горизонте и скалы Южного Техаса ниже — все это попросту исключительные особенности во Вселенной.

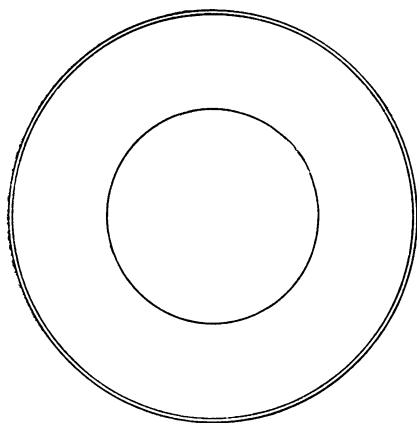
Например, кислород, насчитывающий лишь долю процента от всего вещества Вселенной, составляет 89% веса облаков и воды и 46% веса твердой земной коры.

Вся Земля, конечно, состоит из химических элементов — кирпичей, из которых построена вся материя. Миллионы различных химических веществ на Земле складываются из элементов.



Изучив нашу планету, мы сможем понять, какую роль играют элементы в природных соединениях, как распространены различные элементы на Земле, как они размещены и как они поддерживают жизнь.

Много сведений о внутреннем строении Земли можно получить, изучая волны, возникающие при землетрясениях и проходящие сквозь Землю.



Мы знаем, что Земля разделена на три главные части: тонкую внешнюю *кору* толщиной около тридцати, или несколько более, километров; промежуточный покров — *мантию*, состоящую из базальтовых пород и имеющую тол-

щину в половину радиуса Земли, и, наконец, центральное *ядро*.

Существуют некоторые предположения о земном ядре. Мы можем рассчитать его вес, так как из гравитационного влияния на другие планетные тела известен вес всей Земли.

Волны, образующиеся при землетрясениях, свидетельствуют о том, что ядро жидкое, хотя внутри него может быть еще твердое, *внутреннее ядро*.

Эти известные факты, по-видимому, согласуются с предположением о том, что ядро имеет примерно такой же состав, как и металлические (железные) метеориты, т. е. оно состоит из железа и никеля.

Мантия, по-видимому, образована из кремния, кислорода и небольшого количества железа, т. е. она подобна каменным метеоритам, залетающим на Землю из космического пространства.

Наиболее важна для нас твердая внешняя кора, или *литосфера*, а также океаны и атмосфера, окружающие ее. Сам человек живет на этой внешней кромке Земли, привязанный к ее поверхности. Хотя человек смог взобраться на гору Эверест, ему удалось спуститься всего лишь на несколько километров в глубь океана.

Это и есть зона деятельности человека, в сущности тонкая пленка, включающая слой воздуха и поверхность суши и океана. Иногда ее называют *биосферой* Земли.

Здесь создано уникальное сочетание элементов земной коры, которое привело к возникновению жизни и теперь поддерживает ее.

Какие элементы наиболее широко распространены? Какие элементы необходимы для жизни? Как они распределяются?

Восемь элементов, начиная с кислорода и кремния, составляют более 98,5% твердой земной коры. В приводимом ниже списке указана распространенность и других элементов; видно, что радий и плутоний находятся почти в самом конце списка:

кислород	46,60%	натрий	2,83%
кремний	27,72	калий	2,59
алюминий	8,13	магний	2,09
железо	5,00	титан	0,44
кальций	3,63	фосфор	0,118

марганец	0,100 %	вольфрам	0,0069 %
фтор	0,06—0,09	литий	0,0065
сера	0,0520	азот	0,00463
углерод	0,0320	церий	0,00461
хлор	0,0314	олово	0,0040
рубидий	0,0310	иттрий	0,0028
стронций	0,0300	ниобий	0,0024
барий	0,0250	неодим	0,00239
цирконий	0,0220	кобальт	0,0023
хром	0,0200	лантан	0,00183
ванадий	0,0150	свинец	0,0016
цинк	0,0132	галлий	0,0015
никель	0,0080	торий	0,00115
медь	0,0070		

Менее 0,001 % :

молибден	мышьяк	иттербий
германий	скандий	эрбий
цезий	гафний	тантал
самарий	диспрозий	бром
гадолиний	уран	гольмий
бериллий	таллий	европий
празеодим	бор	сурьма

Менее 0,0001 % :

тербий	висмут
лютеций	кадмий
ртуть	серебро
иод	индий
тулий	

Менее 0,00001 %

селен
аргон
палладий

Менее 0,000 001%:

платина
золото
гелий
теллур
радий
рений
иридий

Менее 0,000 000 01%:

неон
криптон
ксенон
рутений } количества
осмий } неизвестны
водород — данные по ана-
лизу пород непо-
стоянны

Менее 0,000 000 001%:

радий	полоний
протактиний	радон
актиний	

Нептуний и плутоний — обнаружены чрезвычайно малые количества в урановых рудах, образовавшиеся под действием нейтронов.

Астатин и франций — обнаружены чрезвычайно малые количества, образовавшиеся в результате радиоактивного распада.

Технеций и прометий — чрезвычайно малые количества, образовавшиеся под действием нейтронов.

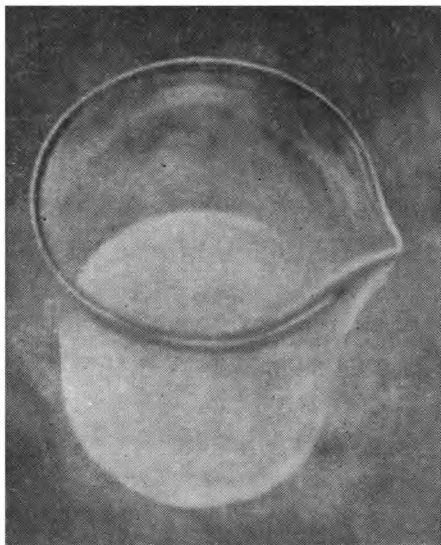
Америций, кюрий, берклий, калифорний, эйнштейний, фермий, менделевий и элемент № 102 не встречаются в естественном виде.

Легко заметить, что земная кора на три четверти построена из двух элементов — кислорода и кремния. Если к твердой оболочке прибавить воду и воздух,

то доля кислорода, водорода и азота еще более возрастет.

Если бы мы учили также живую материю и минералы, растворенные в воде морей и океанов, то это вряд ли внесло бы заметные изменения в наши цифры. Элементы попали в живое вещество и в морскую воду в конечном счете из твердой земной коры.

Очевидным фактом, вытекающим из наших данных о количествах различных элементов, является то, что

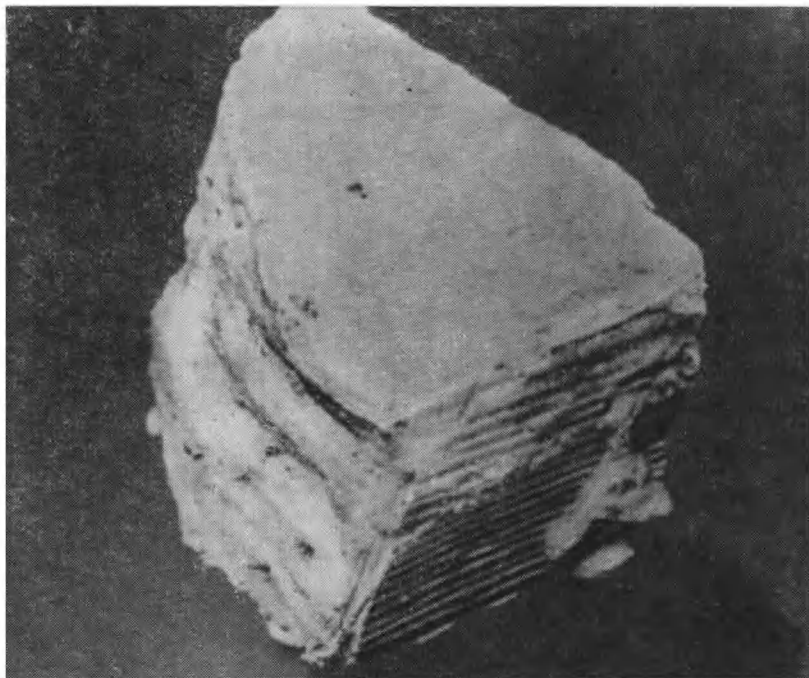


кислород представляет главную составную часть пространства, окружающего человека. Он абсолютно необходим в своем свободном состоянии — в виде газа; он столь же незаменим в виде жидкого соединения — воды; кроме того, он входит в состав бесчисленного

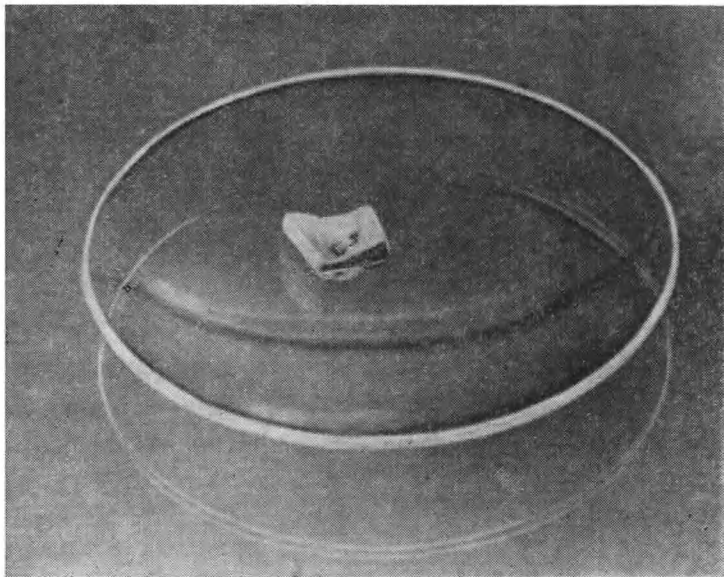
множества твердых соединений, образующих земную кору.

В противоположность кислороду (на фото слева он показан в стакане — в жидком состоянии) элемент аста-тин является настолько редким, что во всей твердой оболочке Земли имеется всего лишь несколько граммов этого элемента.

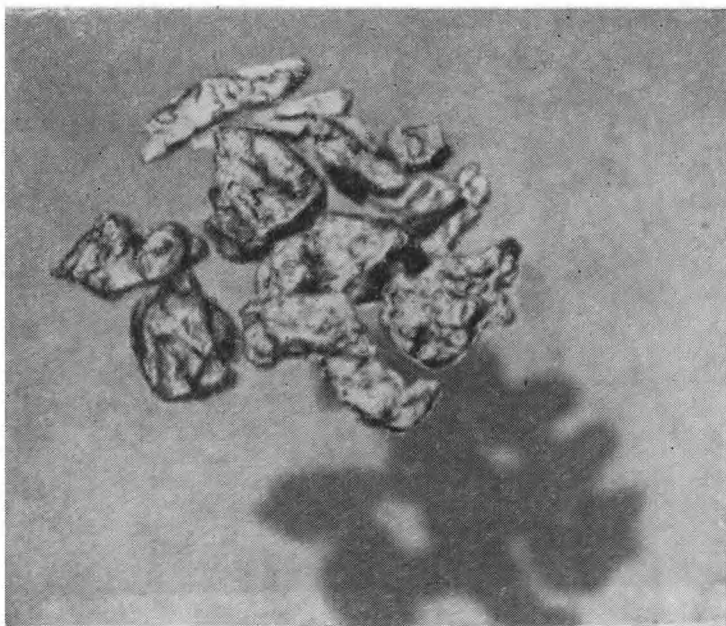
На этой и следующих страницах помещены фотографии образцов некоторых других элементов, встречающихся в земной коре; они расположены в порядке убывания их распространенности.



Кальций

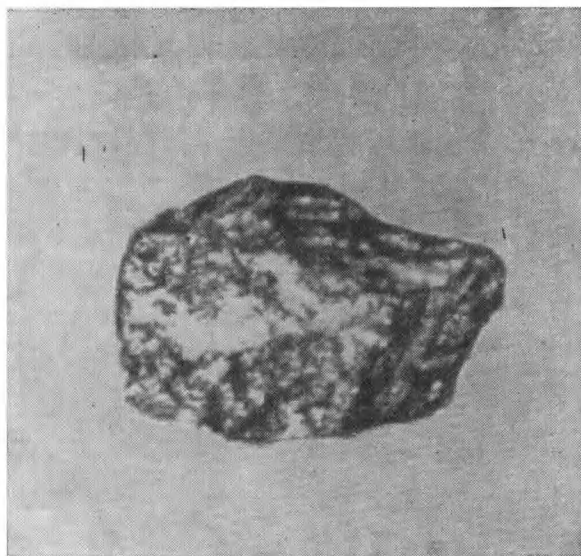
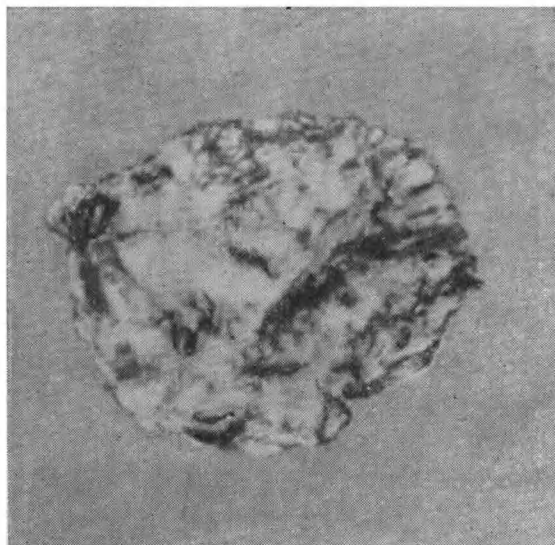


Натрий

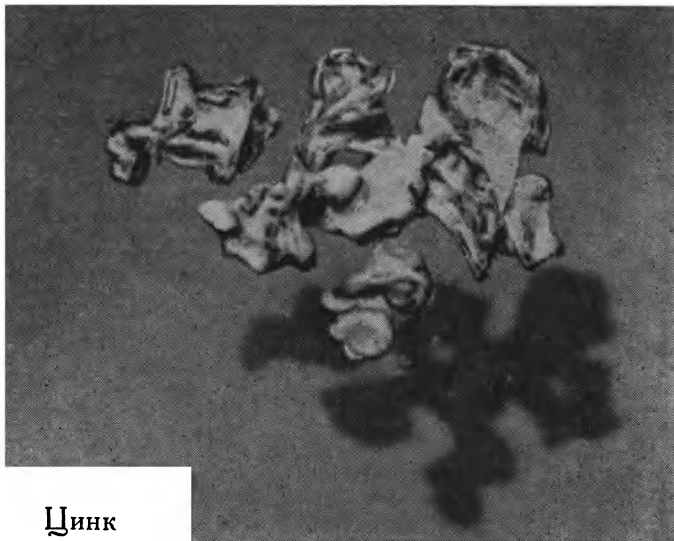


Титан

Хром



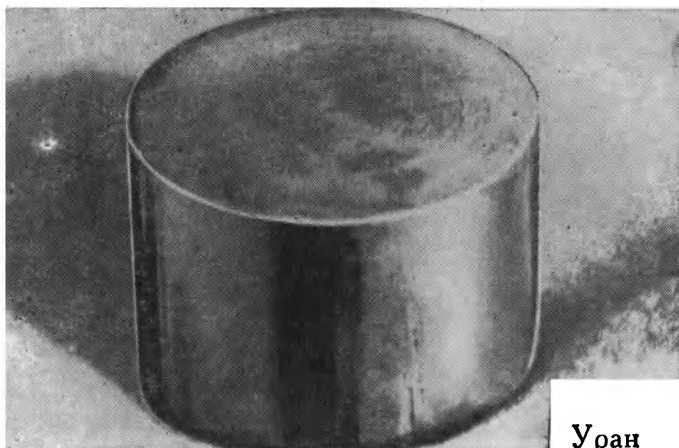
Марганец



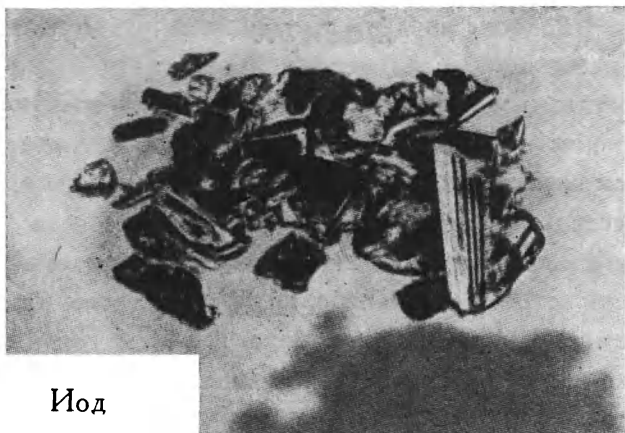
Цинк



Гафний



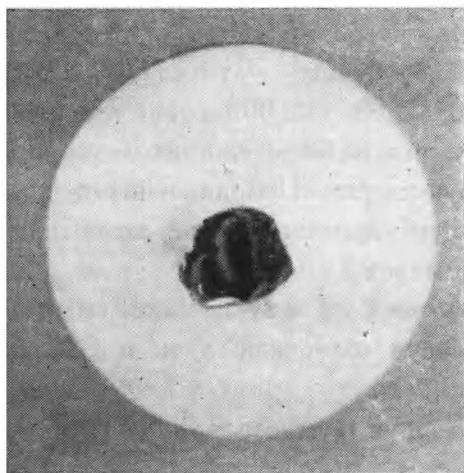
Уран



Иод



Плутоний



Нептуний

Воздух

К остальным девяноста элементам, встречающимся в естественном виде на Земле, видимо, лучше всего подступиться из космического пространства, где почти совсем нет вещества.

Если мы окажемся за несколько тысяч километров от Земли, то встретим там небольшое количество блуждающих атомов, очевидно, кислорода и азота. Трудно сказать, где находится «верхняя граница» атмосферы, она незаметно и постепенно переходит в вакуум космического пространства.

В ста километрах от поверхности Земли еще существует атмосфера, хотя она здесь в миллион раз разреженнее, чем на уровне моря. Там можно встретить как молекулы, так и одиночные атомы азота и кислорода.

Эти атомы и молекулы обладают весом, а потому они стремятся осесть на Землю. Они и в самом деле падали бы вниз, если бы не находились в постоянном движении, непрерывно сталкиваясь друг с другом.

Вся наша атмосфера весит что-то около 5 000 000 000 000 000 тонн, так что на каждого человека, живущего на Земле, приходится примерно два миллиона тонн воздуха. Половина этого количества находится в примыкающем к Земле слое толщиной не более пяти километров.

Атмосфера в буквальном смысле обволакивает Землю, фильтруя солнечные лучи и удерживая ночью солнечное тепло.

Воздух представляет простую смесь газов. Сухой воздух состоит примерно на 78% из азота и на 21% из

кислорода. Кубический метр воздуха содержит также около одного кубического дециметра (менее одного процента) редкого газа — аргона, примерно 15 кубических сантиметров углекислого газа (двуокись углерода) и мизерные количества таких редких газов, как неон, гелий, криптон, ксенон.

Обычно в воздухе имеются также водяные пары, но количество их непостоянно.

Из всех составных частей воздуха кислород, очевидно, наиболее важен. Без него мы не могли бы ни дышать, ни даже зажигать огонь.

Горение является химической реакцией, при которой кислород соединяется с горючим газом. Струя воздуха будет так же хорошо гореть в атмосфере природного газа, как этот газ горит в воздухе.

В пламени свечи углерод и водород расплавленного воска соединяются с кислородом и образуют, соответственно, углекислый газ и воду. Свеча светится благодаря раскаленным частичкам углерода. Как мы уже видели на стр. 57, горящая свеча потребляет кислород воздуха, и как только кислород израсходуется, свеча гаснет.

Свободный кислород поступает в воздух из наземных растений и морских водорослей; это происходит в результате фотосинтеза. Используя энергию солнечного света, зеленые части растений превращают углекислый газ и воду в кислород и углеводы, например, сахар, крахмал и растительные волокна.

Кислород участвует во всех фазах этого процесса, входя в состав газа (двуокись углерода), жидкости (вода) и твердого вещества (углеводы). Этот непре-

рывный обмен кислорода подчеркивает тесную связь между водой, в которой он составляет 89%, и воздухом.

Кислород встречается в воздухе и в жидкой форме — в виде тумана, облаков и дождя, а в воде — в газообразной форме: свободный кислород, растворенный в воде, позволяет рыбам дышать.

Кислород служит прекрасной иллюстрацией того, как элементы могут легко соединяться, образуя вещества, которые в корне различаются как своими химическими свойствами, так и внешним видом, запахом и вкусом.

Океан

Около половины естественных элементов Земли можно обнаружить в океанах, которые занимают семь десятых поверхности нашей планеты.

Большинство минералов вымывается в океан реками всего земного шара со скоростью несколько миллиардов тонн в год.

Так, в трех кубических метрах морской воды — такого количества достаточно, чтобы залить небольшую комнату слоем воды около тридцати сантиметров, — содержится:

42 г сорока различных элементов, в том числе золота, меди, ванадия и иода;

42 г стронция;

200 г брома;

310 г двууглекислой соды (натрий, водород, углерод и кислород);

2,7 кг сульфата калия (калий, сера и кислород);

4,3 кг сульфата кальция;

16,3 кг солей магния, из них более 4 кг магния;

85 кг обычной столовой соли, т. е. хлористого натрия.

Учитывая такое обилие минеральных веществ, нетрудно понять, почему в океане могут существовать 8000 видов растений и 200 000 видов животных.

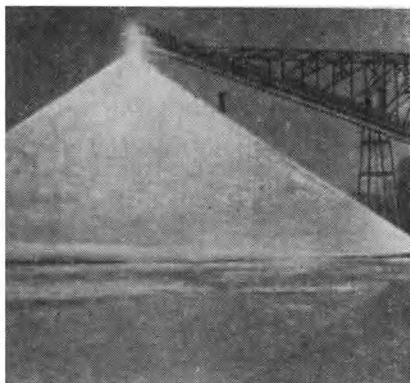
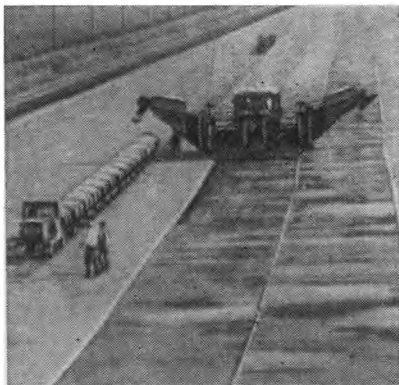
Океан ежегодно дает не только около тридцати миллионов тонн рыбы, но и такие элементы, как иод, бром, магний и, конечно, их соли.

Соль добывают путем испарения морской воды из мелких бассейнов под действием солнечного тепла.

Затем ее перевозят в хранилища, а освободившиеся бассейны вновь заливают соленой водой.

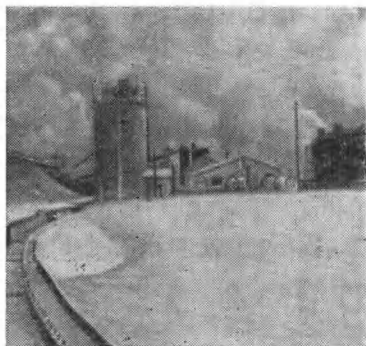
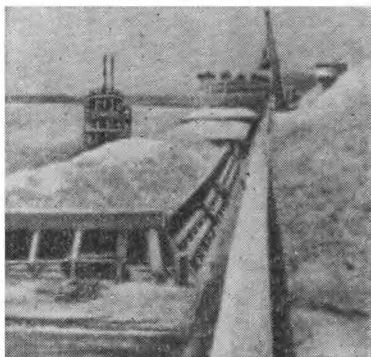
Тем же методом пользовались еще древние греки, римляне и египтяне. В Китае за 2200 лет до нашей эры соль также получали из моря.

В отличие от соли технология добычи магния из морской воды разработана лишь в последнее время, и тем не

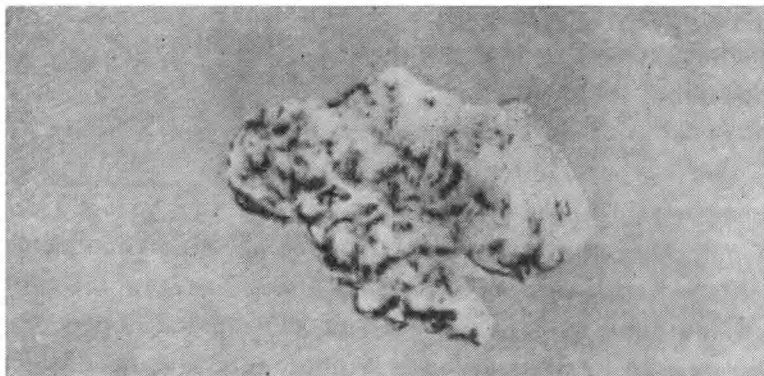


менее в Соединенных Штатах весь металлический магний теперь получается из океана.

Морская вода, в кубическом километре которой содержится примерно миллион тонн магния, смешивается в огромных баках с известью — морскими раковинами, привозимыми на баржах.



В результате образуется так называемое «магниевое молоко» — оно, кстати, может быть использовано в качестве слабительного, — которое далее превращается в хлорид магния. Затем магний отделяется от хлора электро-



лизом. Конечный продукт — металлический магний, который в четыре раза легче железа, широко применяется в авиационной промышленности.

Океан богат и другими элементами, многие из которых в недалеком будущем люди станут добывать. Это настоящий золотой прииск — ведь в каждом кубическом километре воды содержится золота на сумму 93 000 000 долларов, но, к сожалению, извлечение этого золота обходится дороже его стоимости.

Многие элементы, содержащиеся в океане, необходимы для населяющих его животных. Так, например, фосфор и кремний входят в состав панциря ракообразных, медь — в кровь омаров. Если бы некоторые из этих жизненно необходимых элементов исчезли, то рыбная промышленность прекратила бы свое существование, а это вызвало бы голод во многих районах мира.

Земная кора

Хотя в твердой земной коре — породах и почве содержится около девяноста элементов, большинство известных пород состоит лишь из кислорода в сочетании с ограниченным числом других элементов.

Среди этих кислородных соединений, несомненно, наиболее широко распространена окись кремния, или кремнезем (SiO_2), встречающаяся в виде обычного песка, песчаника, кварца, флинта, агата и опала.

Все другие известные породы, за исключением известняка и доломита, слагаются из окиси кремния в сочетании с окислами алюминия, железа, кальция, натрия, калия, магния и других элементов.

Один из наиболее распространенных минералов, не содержащий кремния,— это карбонат кальция (CaCO_3), из которого состоят мел, кораллы, мрамор и известняк.

Доломит представляет собой смесь карбоната кальция и карбоната магния.

Даже в искусственных минералах важное место принадлежит кислороду. Так, портланд-цемент изготавливается из окислов кальция, кремния, алюминия, железа, магния и серы.

Менее распространенные элементы рассеяны по всей Земле, но иногда сконцентрированы в одном месте в виде самородков или рудных отложений.

Земля, подобно воздуху и океану, обладает своими отличительными свойствами, связанными с распространенностью, видом и комбинациями элементов, входящих в ее состав. Но если бы земля, воздух и океаны с морями были бы когда-нибудь отделены друг от друга, то жизнь на нашей планете прекратилась бы. Живые организмы очень сильно зависят от постоянного круговорота элементов между этими тремя составными частями нашей планеты.

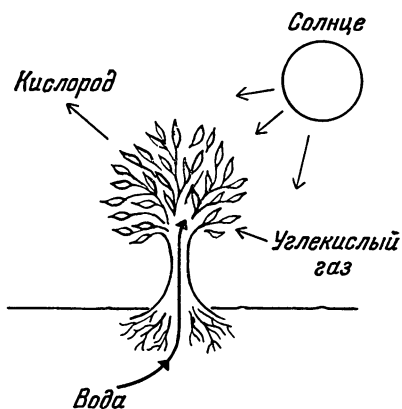
Море богато элементами, вымытыми из земли водой, которую атмосфера забирает из океанов и выливает на землю в виде дождя. Более сложно, но столь же непрерывно происходит круговорот кислорода, углекислого газа и азота.

Наиболее важным моментом в этом круговороте является процесс фотосинтеза, осуществляемый зелеными растениями с помощью энергии солнечного света. Углекислый газ и вода превращаются здесь в свобод-

ный кислород и углеводы — соединения углерода, водорода и кислорода, которые образуют основу растений и составляют главный источник всей нашей пищи.

Выделяющийся кислород вновь пополняет запасы кислорода, находящегося в атмосфере.

Растениям необходимы для роста и другие элементы. Так, например, из почвы или морской воды они получают такие важные элементы, как фосфор, калий, железо, иод.



Азот особенно необходим растениям. Однако, хотя в воздухе содержатся миллиарды тонн азота, этот элемент химически неактивен, и только очень небольшое число живых организмов может использовать его непосредственно.

К таким исключениям относятся бобовые растения и клевер, которые способны усваивать атмосферный азот с помощью бактерий, живущих в маленьких клубнях у корней. Такие растения «фиксируют» азот, т. е. переводят его в удобные для усвоения соединения, в количествах, достаточных не только для собственного роста этих растений, но и для пополнения азота, изъятого из почвы предшествующими сельскохозяйственными культурами.

Животные питаются растениями, а их экскременты, содержащие азотистые соединения, используются в каче-

стве удобрения для почвы; некоторая часть этого азота разлагается и возвращается в виде свободного азота обратно в атмосферу.

Снабжение азотом растений, выращиваемых для получения пищевых продуктов, частично осуществляется с помощью искусственных удобрений, которые человек научился получать, извлекая азот из воздуха и переводя его в твердые соединения.



Многие элементы присутствуют в живом организме в весьма малых количествах, но они тем не менее очень важны. Здесь на рисунке показаны результаты выра-

щивания одинаковых растений в почве, лишенной фосфора и содержащей нормальное количество его.

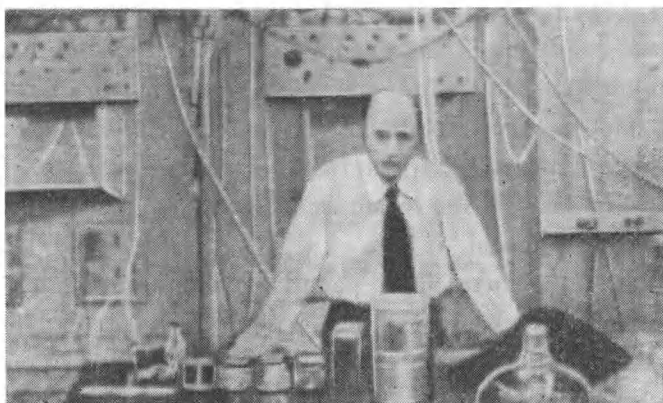
Омары и другие низшие формы морских животных нуждаются в меди, входящей в состав их крови, так же, как человек нуждается в железе. Водорослям требуются иод и калий, а морским огурцам — ванадий. Некоторые другие живые организмы нуждаются в таких элементах, как цинк, сера или мышьяк.

Теперь посмотрим, из чего состоит сам человек.

Подавляющую часть его составляют кислород, углерод и водород, причем свыше 60 процентов — в виде воды.

Человек, весящий 70 кг, содержит 45,5 кг кислорода, 12,6 кг углерода, 7 кг водорода, 2,1 кг азота, 1,4 кг кальция, 0,7 кг фосфора и еще около 700 г следующих эле-

ментов: 260 г калия, 175 г серы, 100 г натрия, 100 г хлора, 30 г магния, 3 г железа и очень небольшие количества иода, фтора и кремния.



Здесь изображен известный химик Бернард Харвей в двух различных вариантах — один в нормальном своем состоянии, а другой — расщепленный на составные элементы.

В 49,5 литрах воды содержатся 44 кг кислорода и 5,5 кг водорода. Кроме того, еще по 1,5 кг кислорода и водорода находятся в организме человека в виде других соединений.

Железо — неотъемлемая часть гемоглобина нашей крови, а иод играет важную роль в химии щитовидной железы.

В человеке, конечно, эти элементы соединены друг с другом, образуя многие тысячи различных очень сложных и удивительных соединений.

Оценивая значение различных элементов на Земле, мы должны признать, что кислород во многих отношениях играет выдающуюся роль. Это наиболее распространенный элемент как в организме

человека, так и в твердой оболочке Земли и в океанах. Это самый важный элемент атмосферы, и он необходим человеку в виде сотен различных соединений.

Семь следующих за кислородом (по степени распространенности) элементов составляют бóльшую часть пород земной коры и бóльшую часть солей морей и океанов. Остальные восемьдесят четыре естественных элемента составляют вместе менее полутора процентов веса внешней оболочки Земли.

Однако относительная распространенность последних не всегда соответствует их важности. Так, рубидия, сравнительно малоизвестного элемента, в четыре раза больше, чем меди, и в тысячи раз больше, чем иода.

С другой стороны, более знакомые названия — неон, радий и плутоний — находятся в самом конце списка.

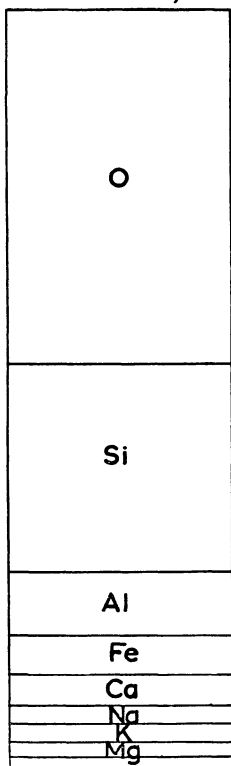
Золото, как известно, ценится благодаря своей редкости, но ведь имеется двадцать элементов (не считая искусственных) еще более редких, чем золото. Титан, девятый по распространенности элемент на земле, только недавно занял видное место как полезный материал. То же можно сказать и о германии, используемом в настоящее время в полупроводниковых приборах, и о многих других редких элементах.

Ниобий, который значительно чаще встречается, чем свинец, считался до недавнего времени бесполезным, а теперь становится важным материалом в авиации, так как он способен выдерживать очень высокие температуры.

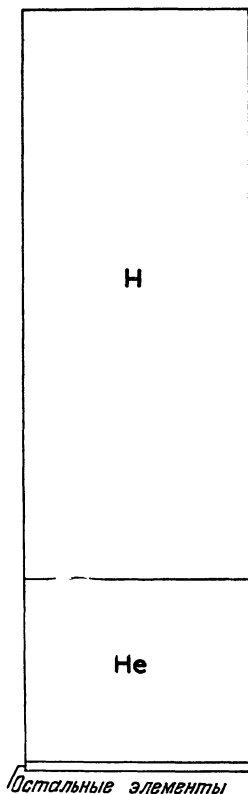
Можно ожидать, что в будущем и другие малоизвестные элементы найдут широкое применение в различных областях — металлургии, медицине, сельском хозяйстве, ракетостроении, а также при использовании источников термоядерной и солнечной энергии.

Вот все, что касается роли элементов на Земле.

Элементы в земной коре



Элементы во Вселенной



Если мы посмотрим теперь на Вселенную в целом, то убедимся, что Земля представляет собой

нечто особенное, ибо присущее ей распределение различных элементов вряд ли встречается где-либо еще.

На Земле водород и гелий — всего лишь два элемента из тех восьмидесяти трех, которые вместе составляют около процента земной коры. Зато Вселенная в целом на 99% состоит из водорода и гелия, а на все остальные элементы приходится только один процент.

ВСЕЛЕННАЯ

Во Вселенной элементы концентрируются в изолированных друг от друга горячих телах — так называемых звездах. Но тем не менее сама «пустота» — громадное, близкое к абсолютному вакууму межзвездное пространство — весит больше, чем сотня миллиардов Солнц.

Изучение звезд — самая старая из наук. Еще за 4000 лет до нашей эры жители Древнего Вавилона вели систематические наблюдения за ними. Греческий ученый Пифагор, живший в 5 веке до нашей эры, представлял себе Землю в виде шара, висящего в пространстве.

А идея солнечной системы с планетами, вращающимися вокруг Солнца, была впервые выдвинута приблизительно в 265 г. до нашей эры Аристархом Самосским.

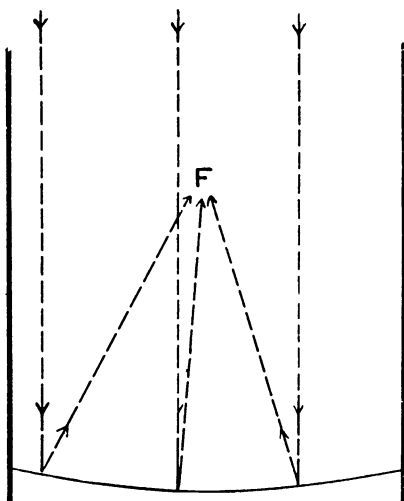
Однако его теория отвергалась до тех пор, пока 1750 лет спустя Николай Коперник не объяснил траекторий движения планет, основываясь на представлении о Солнечной системе, в центре которой находится Солнце. Но даже и после этого люди оскорблялись, когда им говорили, что Земля не является центром Вселенной.



Современная астрономия родилась с изобретением в 1608 г. в Голландии телескопа и его усовершенствованием итальянским ученым Галилео Галилеем, который при помощи этого инструмента открыл спутники у Юпитера и пятна на Солнце.

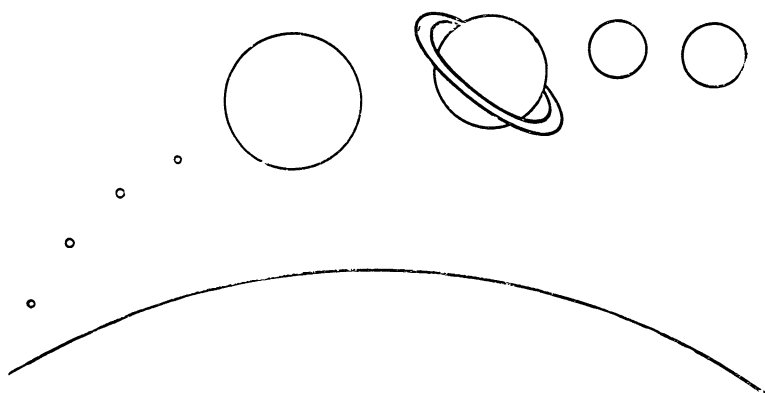
Исаак Ньютон, не удовлетворенный ограниченными возможностями преломляющего телескопа Галилея (рефрактора), работающего подобно подзорной трубе, изобрел зеркальный телескоп.

Современные зеркальные телескопы весьма разнообразны по размерам: от маленького любительского прибора до огромного Паломарского телескопа с диаметром зеркала более 5 метров, но принцип действия у всех этих телескопов одинаков.



Параллельные лучи света от звезд отражаются параболическим зеркалом и собираются в фокусе F . Изображение звезды можно либо непосредственно рассматривать в фокусе, либо сфотографировать. Повернув изображение плоским зеркалом под прямым углом, можно его рассматривать сбоку.

Непрерывные наблюдения, проводившиеся в течение десятилетий, открыли нам все то, что мы знаем о Вселенной, в том числе тончайшие детали нашей собственной Солнечной системы.



Здесь показаны относительные размеры Солнца и планет: Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна и Плутона.

Если бы Земля была размером с точку на этой странице, то Солнце имело бы диаметр около 9 см и находилось бы на расстоянии 10 м от этой точки. В том же масштабе Плутон должен был бы находиться на расстоянии 400 м от Солнца, а до ближайшей звезды было бы около 2500 км.

На приведенном на следующей странице чертеже можно видеть относительные расстояния от Солнца до орбит различных планет, включая орбиты астероидов (точечная линия) между Марсом и Юпитером.

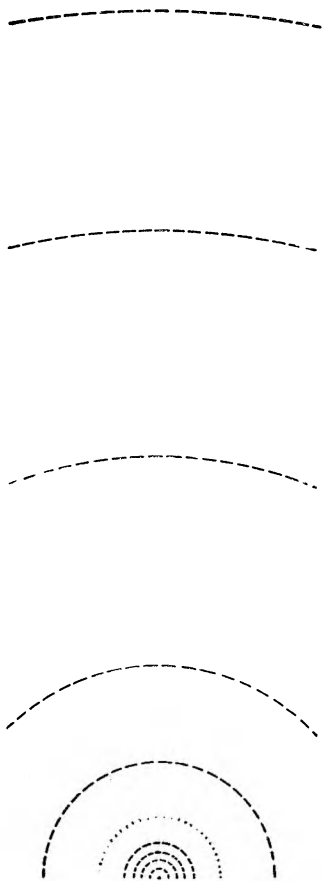
Эти астероиды, которых в настоящее время открыто свыше 1600, являются, вероятно, осколками десятой планеты. Самый большой из них, Церера, имеет диаметр 770 км. Пунктирная дуга наверху (стр. 231) показывает среднее расстояние Плутона от Солнца; в действительности, Плутон, как и расположенный несколько ближе к Солнцу Нептун, движется по сильно эксцентрической орбите.

Нетрудно представить себе, что чем дальше планета от Солнца, тем длиннее ее «год». Например, Меркурий совершает оборот вокруг Солнца за 88 дней, а Плутон — за 248 лет.

Солнечная система представляет собой весьма небольшую часть значительно более сложного образования — нашей видимой Галактики, которую мы называем Млечным Путем. Наше Солнце является одной из ста миллиардов звезд Галактики и находится, как полагают, на расстоянии 30 000 световых лет от ее центра. Млечный Путь в целом имеет форму чечевицы с радиусом около 50 000 световых лет (световой год — расстояние, которое пробегает свет, имеющий скорость 300 000 км/сек, в течение года; это расстояние равно приблизительно 9 380 000 000 000 км).

С Земли нам видна внутренняя область Галактики; тонкая вуаль Млечного Пути, пересекающая ночное небо, есть «опушка» этой Галактики.

Другие галактики, находящиеся вне нашей собственной Галактики, позволяют составить приблизительную картину того, как должен выглядеть Млечный Путь снаружи. Он похож на



изображенную здесь спираль в созвездии Андромеды, которая видна «с ребра», и на хорошо



знакомую спираль в созвездии Льва, которая видна «сверху».

В каждой галактике между миллиардами и миллиардами звезд протянулись безбрежные просторы почти совершенно пустого пространства. Правда, и здесь присутствует вещество, но в столь мизерной концентрации, что в 1 кубическом дециметре содержится всего лишь 20 атомов. Для сравнения укажем, что в каждом кубическом дециметре воздуха на поверхности нашей Земли (на уровне моря) имеется примерно 50 000 000 000 000 000 000 000 000 атомов.



Однако космическое пространство обладает такой колоссальной протяженностью, что лишь в одной нашей Галактике вес этого сильно рассеянного межзвездного вещества приблизительно равен весу сотни миллиардов Солнц.

Наша собственная Галактика входит в небольшую локальную группу галактик, которая включает также большую спираль в созвездии Андромеды, показанную на стр. 233.

Вся известная нам часть Вселенной, по современным оценкам, содержит что-то около 1 000 000 000 000 галактик, многие из которых имеют характер скоплений, аналогичных группе в созвездии Волосы Вероники, удаленной от нас на 40 миллионов световых лет.



«Обмен веществ» в космосе

Нас особо интересует химический состав Солнца и звезд, а также рассеянных в космическом пространстве газов и космической пыли. Очевидно, мы не можем получить «пробу» этих веществ, так что приходится идентифицировать элементы, присутствующие в космическом пространстве, косвенными способами. Для этой цели используется спектроскоп с фотокамерой, устанавливаемый на телескопе, там, где обычно находится наблюдатель.

Спектроскоп, как уже было показано на стр. 69, разлагает поступающий в него свет, и в результате можно наблюдать и исследовать отдельные длины волн, или цвета, из которых он складывается. Это позволяет идентифицировать атомы, которые испустили данные длины волн; таким образом мы можем выяснить, какие элементы присутствуют в тех или иных звездах или туманностях.

Спектроскоп позволяет получить спектральные характеристики раскаленного натрия, имеющегося на Солнце, так же надежно, как он обнаруживает свечение частиц натрия, брошенного в пламя горелки.

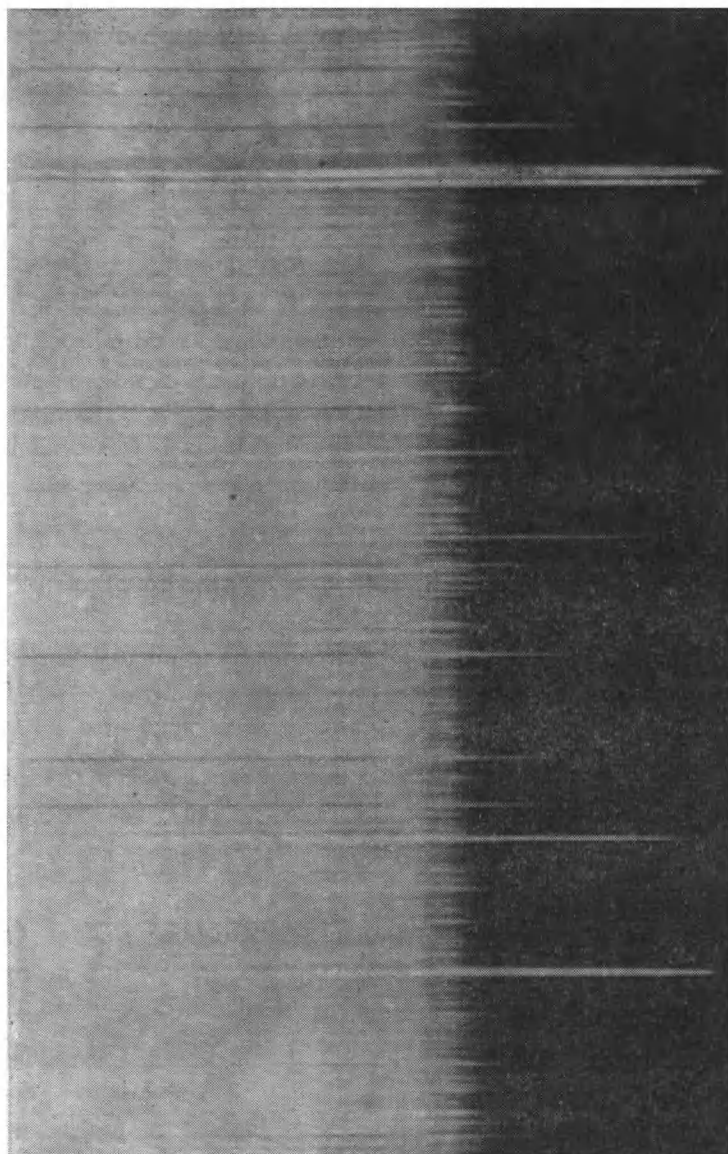
Облака космического газа и пыли можно видеть либо как темные «провалы» на фоне более далеких звезд, либо как области, светящиеся отраженным светом. Свечение такой яркой газовой туманности складывается, с одной стороны, из отраженного света расположенных поблизости звезд, а с другой — из множества специфических длин волн, которые обусловлены газом, поглощающим, а затем вновь испускающим этот звездный свет.

Собственная атмосфера нашей Земли производит аналогичное действие, позволяя тем самым идентифицировать элементы, находящиеся в верхних слоях ее. Наша атмосфера также поглощает и потому задерживает большое количество длин волн падающего света, в частности в ультрафиолетовой области, что осложняет обработку спектральных данных, которые мы получаем из космического пространства.

На следующей странице показана часть спектра излучения Солнца в интервале длин волн от 3940 ангстрем (верхний край) до 4130 ангстрем (нижний край). Ангстрем (\AA) — единица длины, применяемая для измерения таких величин, как радиус атома или толщина масляной пленки; 1 сантиметр равен 100 миллионам ангстрем.

На рисунке середина участка спектра примерно соответствует границе области, видимой человеческим глазом. Ниже этой границы расположены длины волн фиолетового света, еще видимого человеком; выше нее — невидимый фиолетовый свет, примыкающий к ультрафиолетовой области, которая находится в пределах чувствительности обычной фотопленки.

Показанный на фотографии спектр был получен при помощи телескопа, сфокусированного на край диска Солнца, и на нем можно видеть несколько широких «линий», резко выделяющихся на темном фоне. Эти линии создаются горячими газами в бушующей атмосфере Солнца. Наиболее выступающие из них вызваны излучением раскаленных атомов кальция (3968 \AA), водорода (3970 \AA), гелия (4026 \AA), железа (4045 \AA) и стронция (4077 \AA). Видна и вторая линия водорода — с длиной волны 4101 ангстрем.



Линии гелия в спектре Солнца привели к открытию этого элемента на Солнце за 27 лет до того, как он был обнаружен на Земле.

На фотографии четко видны как линии испускания (эмиссии), так и поглощения (абсорбции) света. В левой части приведенного спектра имеются темные линии поглощения, накладывающиеся на светлый спектр элементов, присутствующих на поверхности Солнца. Эти темные линии создаются более холодными элементами, которые находятся над поверхностью Солнца (т. е. между Солнцем и нашим телескопом) и поглощают некоторые длины волн света, испускаемого с горячей поверхности.

Спектральный анализ излучения Солнца и звезд вместе с другими наблюдениями позволили сделать вывод, что распределение элементов во Вселенной сильно отличается от распределения их на Земле.

Так, наиболее распространенным элементом во Вселенной является не кислород, как это имеет место на Земле, а водород — самый легкий и самый простой из всех элементов. Солнце и звезды содержат около 75% водорода и 24% гелия. На все остальные элементы вместе взятые остается всего один процент.

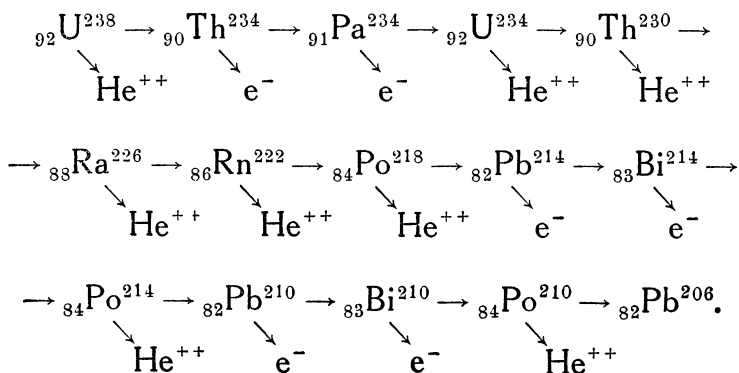
В пределах этого одного процента элементы (кроме водорода и гелия) распределяются примерно в той же пропорции, что и на Земле.

Некоторые ученые считают, что наша солнечная система, по-видимому, образовалась в результате конденсации находившихся в вихревом движении газов, причем это вращение сохранилось до сих пор в виде вращения планет и самого Солнца.

Около 90% этого вещества сконденсировалось в Солнце, а остальные 10% остались. Приблизительно 99% остатка составляли водород и гелий, которые улетучились. Таким образом, всего лишь одна тысячная часть первоначальной массы материи в конце концов превратилась в планеты.

Теперь попробуем поставить вопрос: каков возраст Вселенной? Сколько лет существуют элементы, из которых состоит Вселенная?

Наиболее надежным ключом для разрешения этой проблемы являются сведения о возрасте нашей собственной планеты. Мы можем измерить возраст Земли довольно легко и самым непосредственным способом, воспользовавшись распадом природного урана. Дело в том, что уран распадается совершенно определенным образом, испуская альфа-частицы, или ядра гелия, и превращаясь в торий-234. Торий в свою очередь испускает электроны, образуя протактиний. Это ядро также распадается, и таким образом возникает ряд все более и более легких изотопов различных элементов, пока, наконец, не будет достигнуто стабильное состояние в форме свинца. Весь процесс состоит из 14 отдельных ступеней:



Нам известна скорость распада урана: половина любого данного количества его превращается в свинец за четыре с половиной миллиарда лет.

Если мы возьмем образец минерала уранинита, в котором содержится радиоактивный уран, то можем измерить в нем количества урана и конечного продукта его распада — свинца. Из отношения содержаний свинца и урана можно определить возраст минерала, а отсюда — сделать вывод о возрасте Земли.

При помощи этого метода возраст Земли был оценен приблизительно в 5 миллиардов лет, и есть основания предполагать, что видимая нами часть Вселенной лишь немного старше Земли, т. е. ее возраст — 5,5 или 6 миллиардов лет.

На вопрос, как возникла Вселенная, ответить много труднее, чем на вопрос, когда она возникла.

В 1920 г. было открыто, что Вселенная расширяется во всех направлениях, причем галактики удаляются друг относительно друга, подобно пятнам на поверхности шара, который постепенно раздувается.

Георгий Гамов из Колорадского университета выдвинул предположение, что Вселенная вначале представляла собой невероятно плотное ядро из радиоактивных нейтронов.

Нейтрон распадается с периодом полураспада 10 минут, испуская электрон и приобретая в результате положительный заряд, т. е. превращаясь в протон. Затем протон, или ядро водорода, может захватить несколько нейтронов; некоторые из них в свою очередь распадаются, превращаясь в протон, уже в самом ядре. При этом образуются все более и более тяжелые элементы.



О другой теории, объясняющей возникновение элементов, расскажет Отто Струве — руководитель кафедры астрономии Калифорнийского университета в Беркли и бывший президент Международного астрономического союза *).

Д-р Струве был удостоен в 1944 г. золотой медали Королевского астрономического общества в Лондоне.

*) 6 апреля 1963 г., когда уже вышли в свет и первое американское и первое русское издания этой книги, Отто Струве скончался.



Рождение Вселенной

Слева изображена хорошо известная туманность Конская голова в созвездии Орион. Она состоит главным образом из космической пыли плюс некоторое количество холодного газа — водорода и выделяется в виде темного силуэта на фоне более разреженной массы горячего, светящегося водорода. Она похожа на огромный черный провал или на мрачное облако, которое затемняет значительный участок звездного покрова в Млечном Пути.

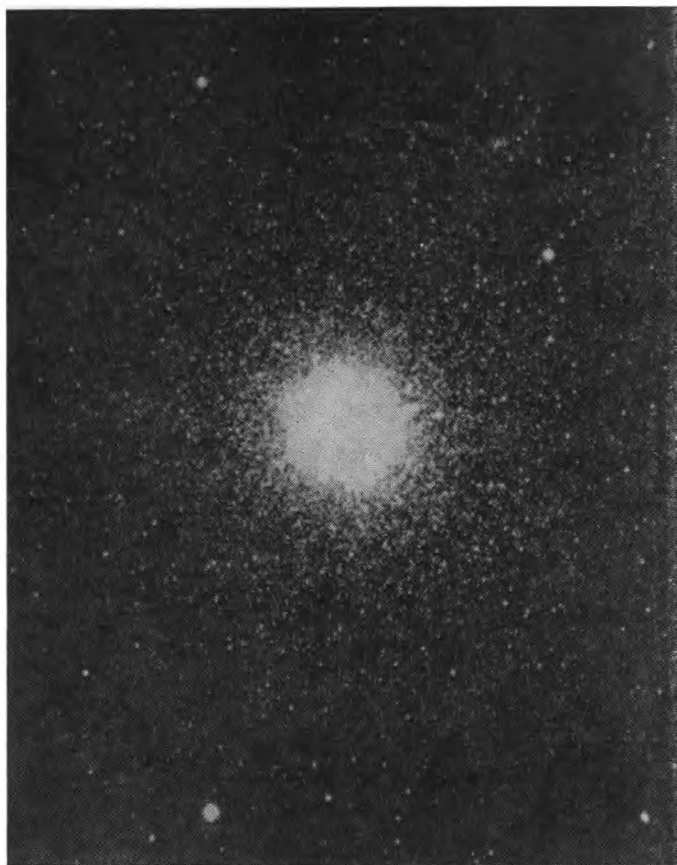
На другой фотографии, изображающей скопление водородного газа в отдаленной области космического пространства, можно видеть небольшие черные пятна. Это



глобулы, состоящие из водорода, или протозвезды, которые в настоящий момент находятся в процессе формирования.

Приведенная ниже пара фотографий наглядно демонстрирует рождение двух новых звезд. Вверху изображена группа из трех звезд, сфотографированных в 1947 г. На втором снимке, сделанном спустя восемь лет, нижняя звезда и звезда, находящаяся слева, стали двойными. Эти новые звезды образовались из газообразного водорода за истекшие 8 лет.





Здесь показан противоположный случай — одно из наиболее старых формирований во Вселенной, шаровое скопление звезд. Оно существует пять с половиной или шесть миллиардов лет, и каждая звезда в скоплении образовалась именно в это время. Имевшиеся вначале газ и космическая пыль сконденсировались тогда в эти сто тысяч, или около того, звезд.

Теперь мы подошли к вопросу: как образуются химические элементы во Вселенной?

Теория профессора Гамова приписывает образование элементов конденсированному нейтронному газу, возможно, существовавшему шесть миллиардов лет назад. Процесс самопревращения нейтронов в протоны и построения все более и более сложных элементов должен был продолжаться в течение приблизительно первого получаса существования Вселенной.

Но вот иная теория.

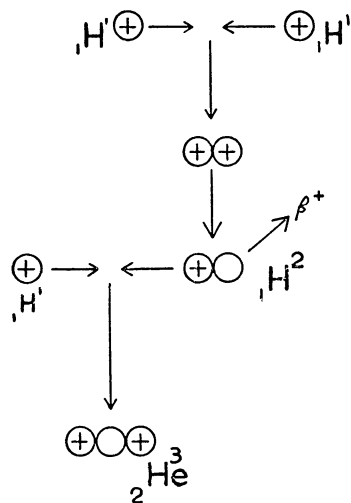
Предположим, прежде всего, что Вселенная первоначально существовала в виде газообразного водорода.

Мы можем начать с рассмотрения двух ядер водорода, или протонов, которые на огромной скорости (из-за высокой температуры в звезде) сталкиваются друг с другом. Они соединяются, и один из протонов превращается в нейтрон, теряя свой заряд

в виде позитрона — «положительного электрона», который обозначен здесь греческой буквой β («бета») со значком «плюс».

Образовавшаяся в результате частица представляет собой дейтрон, или ядро тяжелого водорода, состоящее из одного протона и одного нейтрона.

Этот дейтрон может столкнуться с другим протоном водорода, и когда это случится,



будет испущен гамма-квант и образуется частица с атомным весом 3.

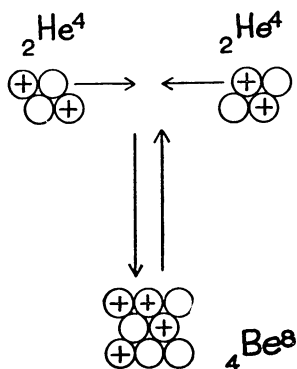
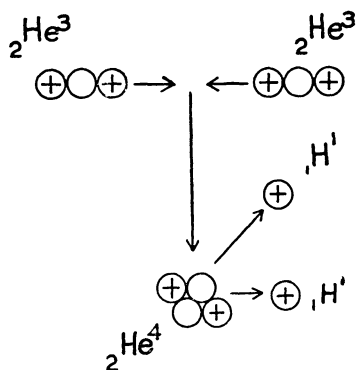
Мы должны назвать эту частицу гелием-3, так как она состоит из двух протонов и одного нейтрона, и ее масса приблизительно равна массе трех отдельных протонов.

Гелий-3 — редкий изотоп, более легкий, чем обычно встречающийся гелий-4; он не способен захватить протон.

Однако он может столкнуться с другой аналогичной частицей гелия-3. В этом случае обе частицы соединяются, образовав общее ядро гелия-4 и испустив два протона.

Этот процесс служит источником энергии Солнца и огромного множества звезд. Весь свет, который мы получаем от звезд, по существу, возникает в результате именно такого ядерного процесса.

Этот процесс имеет место лишь при температуре около десяти миллионов градусов. Но когда звезды сжимаются, они становятся очень горячими. Когда же температура достигает приблизительно сотни миллионов



градусов, две альфа-частицы, или ядра гелия, сталкиваются с колоссальной скоростью. Они образуют новую частицу, состоящую из того же количества протонов и нейтронов, сколько их было в двух альфа-частицах. Эта новая частица — неустойчивый изотоп бериллия, который не встречается на Земле,

так как если бы он вдруг возник в условиях Земли, то немедленно вновь распался бы на две альфа-частицы.

Но внутри звезд в любой момент времени на каждый миллиард альфа-частиц имеется приблизительно одна такая частица бериллия-8, так что в звездах непрерывно возникает огромное количество их.

Частица бериллия-8 может столкнуться с альфа-частицей, т. е. с гелием-4, и образовать другой элемент — углерод.

Этот углерод — обычный углерод-12 — в свою очередь может захватить альфа-частицу, образуя кислород-16, который, захватывая новую

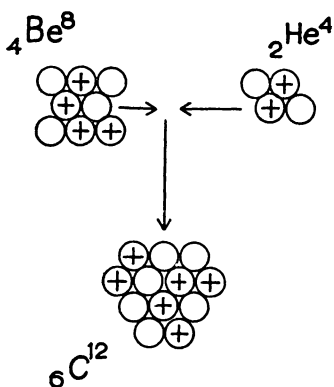
альфа-частицу, превращается в неон-20, и так далее.

Таким способом в очень горячих звездах может возникнуть множество тяжелых элементов.

Однако мы не рассмотрели возникновения и свойств всех элементов. Мы не объяснили, например, почему на поверхности Солнца имеется литий или почему технеций — весьма неустойчивый элемент на Земле — встречается на поверхности огромного количества звезд.

Чтобы найти объяснение этим фактам, вновь обратимся к Солнцу.

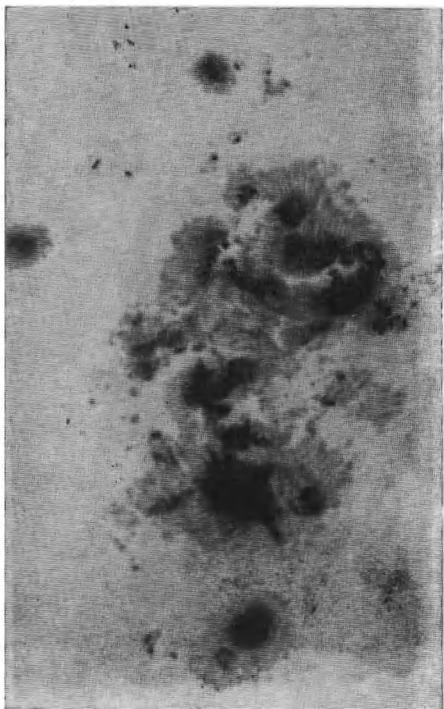
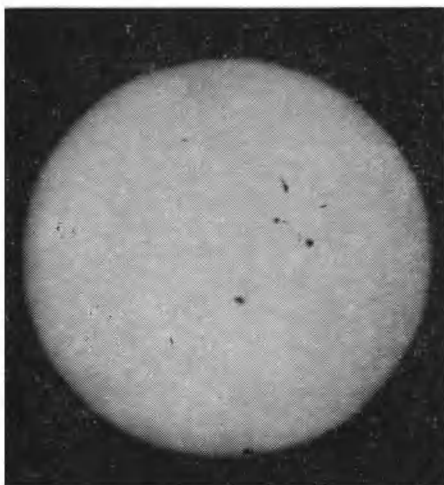
Даже в очень слабый телескоп можно рассмотреть пятна на поверхности Солнца.

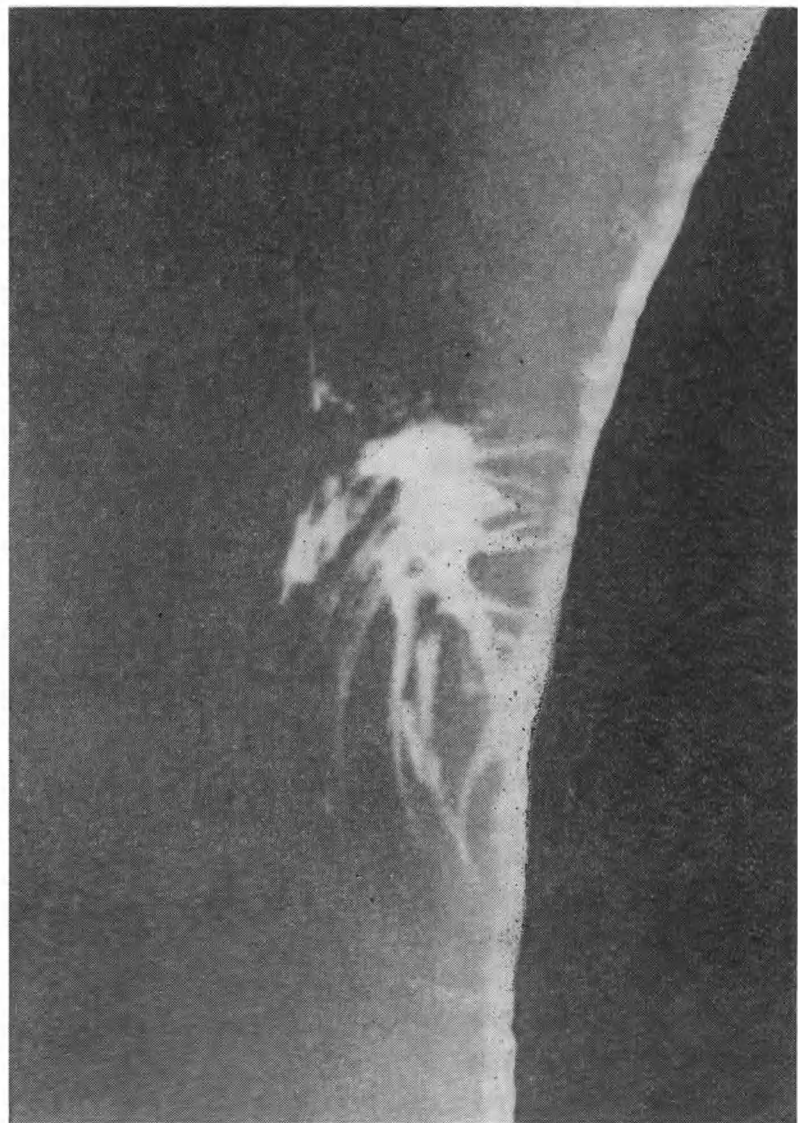


При исследовании спектра этих солнечных пятен ученые обнаружили, что они являются, по существу, огромными магнитами, причем магнитные поля колоссальной интенсивности нарастают в солнечном пятне в течение нескольких часов или нескольких дней. Это напоминает условия, с которыми мы встречаемся в бетатроне — ускорителе электронов.

Электроны поступают в бетатрон. Затем быстро включается магнитное поле, и по мере нарастания этого поля электроны ускоренно движутся по круговой траектории, достигая огромной скорости.

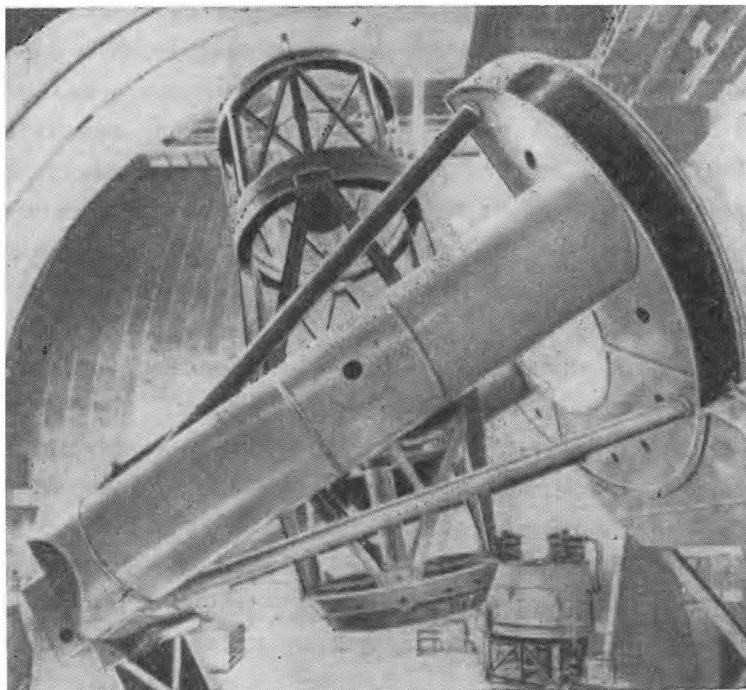
Итак, магнитное поле солнечного пятна представляет собой естественный ускоритель частиц.





Аналогичным образом и в звездных пятнах, где магнитные поля могут быть во много раз сильнее, чем в солнечных пятнах, очевидно, имеются частицы с очень большой энергией. Эти ускоренные естественным путем частицы могут образовывать такие элементы, как литий, бериллий и бор, которые хотя и являются чрезвычайно редкими элементами в звездах, но тем не менее обнаруживаются в свете, испускаемом звездами, при помощи спектроскопа. (Отто Струве.)

Структура и химический состав Вселенной изучаются сейчас все более и более интенсивно. То, что предстоит сделать, значительно превосходит возможности



наших телескопов, и приходится создавать новые инструменты. Например, ведутся работы по сложной программе на большом телескопе с отражательным зеркалом диаметром более 5 метров в Маунт-Паломар.

Новейшим средством для исследования Вселенной является радиотелескоп, который собирает радиоизлучение с длиной волны, гораздо большей, чем длина волны видимого света. Один из самых крупных в мире телескопов — это 76-метровый радиотелескоп в Манчестере (Англия). В США проектируется 120-метровый радиотелескоп, который будет сооружен вблизи Шуга-Гроув (штат Западная Виргиния).

Обнаруживаются интересные параллели между экспериментами, осуществляемыми человеком на Земле, и явлениями, происходящими на далеких звездах. К примеру, один из тяжелых трансурановых элементов — калифорний-254, который распадается путем самопроизвольного (спонтанного) деления с периодом 55 дней, — как теперь полагают, ответствен за выделение огромных количеств энергии в некоторых типах сверхновых (взрывающихся) звезд, у которых интенсивность излучения спадает вдвое за 55 дней.

Мы по праву гордимся грандиозными достижениями двадцатого века, такими, как изобретение ускорителей частиц, управление ядерным делением, а в перспективе — термоядерным синтезом, превращение одного элемента в другой и т. д. Но теперь мы открыли, что и ускорение частиц, и деление, и синтез, и превращение элементов — все это происходит в Солнце и звездах уже в течение нескольких миллиардов лет.

Наука, которая начинается с простых наблюдений и наивного любопытства, всегда возвращается к природе для проверки своих теорий, для поисков того, что не было замечено раньше, и для более глубокого проникновения в законы Вселенной или природу человека и его окружения.

В истории периодической таблицы непрерывно выдвигались самые различные гипотезы, которые породили массу неправильных выводов. Однако новые, более тщательные наблюдения за явлениями, происходящими в природе, каждый раз приводили к исправлениям и уточнениям, так что сегодня периодическая таблица предстает перед нами как важнейший объединяющий принцип, который устанавливает связь между химическими свойствами всех известных элементов и даже предсказывает свойства тех элементов, которые пока еще не открыты.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Элементы не получили названий по какому-то определенному принципу.

Химические символы для всех элементов, как правило, связаны с их названиями. Однако некоторые из символов произошли от латинских или других названий, не употребляющихся в настоящее время.

Принятая система обозначений основана на идее шведского химика Берцелиуса, который еще в 1814 г. предложил использовать в качестве химического символа первую букву латинского названия элемента. Если названия двух или более элементов начинаются с одной и той же буквы, то добавляется одна из следующих букв. Позднее эта система была распространена на образование символов и от названий нелатинского происхождения.

Система Берцелиуса оказалась очень удобной. Уже сравнительно недавно было установлено, что химические уравнения можно сопровождать числовыми расчетами. Новые символы были просты и указывали атомные веса в случае каждого элемента. Их легко написать, и они позволяют химику просто и наглядно изображать химические реакции.

Вот девять элементов, символы которых происходят от старых латинских названий: натрий (N*A*trium), калий

(Kalium), железо (FErrum), медь (CUprum), серебро (ArGentum), олово (StaNum), сурьма (StiBium), золото (AUrum) и свинец (PlumBum).

Символы для вольфрама и ртути являются производными от названий Wolfram и HydrarGyrum.

Вообще говоря, элементы, известные до XVII столетия, сохранили свои древние названия, а элементам, открытым позднее, названия присваивались учеными, открывшими их.

Дальше помещен список элементов с указанием происхождения названий и их символов. Вслед за названием и символом каждого элемента следуют: его атомный номер, физическое состояние при обычной температуре (если он не твердый), дата открытия (которая остается в некоторых случаях спорной).

Азот (N), 7, 1772; от французского слова «nitrogène» — производитель селитры, т. е. нитрата натрия или калия.

Активный (Ac), 89, 1899; от греческого слова «aktis» (луч), вследствие радиоактивности элемента.

Алюминий (Al), 13, 1827; «алюм» — название соединения алюминия, в котором он был открыт.

Америций (Am), 95, 1944; назван в честь Америки.

Аргон (Ar), 18, газ, 1894; от греческого слова «argon» (ленивый или недейтельный).

Астатин (At), 85, вероятно, твердый, 1940; от греческого слова «astatos» (неустойчивый).

Барий (Ba), 56, 1808; от названия минерала барита, или тяжелого шпата, в котором он находится (по-гречески слово «barys» означает «тяжелый»).

Бериллий (Be), 4, 1797; найден в минерале берилле.

Берклий (Bk), 97, 1949; назван в честь города Беркли, штат Калифорния.

Бор (B), 5, 1808; от названия его соединения «богах».

Бром (Br), 35, жидкость, 1825; от греческого слова «bromos» (дурной запах).

Ванадий (V), 23, 1801; в честь древнескандинавской богини любви и красоты Ванадис.

Водород (H), 1, газ, 1766; от французского слова «hydrogène» (воду рожающий) — при его сгорании образуется вода.

Гадолий (Gd), 64, 1886; по имени финского химика Иоганна Гадолина, изучавшего редкие земли.

Галлий (Ga), 31, 1875; назван в честь Франции («Gallia» — старое название Франции).

Гафний (Hf), 72, 1923; от «Hafnia» — латинского названия Копенгагена.

Гелий (He), 2, газ, 1868; от греческого слова «helios» (Солнце), так как он впервые был открыт в солнечном спектре.

Германий (Ge), 32, 1886; назван в честь Германии.

Гольмий (Ho), 67, 1879; от «Holmia» — латинского названия Стокгольма.

Диспрозий (Dy), 66, 1886; от греческого слова «dysprositos», что означает «скупой».

Европий (Eu), 63, 1901; производное от Европы.

Железо (Fe), 26, доисторические времена; символ получен от старого романского названия железа «ferrum».

Золото (Au), 79, доисторические времена; символ получен от старого романского названия золота — «aurum».

Индий (In), 49, 1863; от латинского слова «indicum»,

так как он был открыт с помощью спектроскопа, и его спектр имеет линии цвета индиго.

Иод (J), 53, 1811; от греческого слова «iodes» — фиолетовый.

Иридий (Ir), 77, 1804; от греческого слова «iris» (радуга), потому что некоторые его растворы обладают радужной окраской.

Иттербий (Yb), 70, 1878; в честь Иттерби (Ytterby) — района Швеции, где были обнаружены многие редкоземельные руды.

Кадмий (Cd), 48, 1817; от древнего латинского названия руд, в которых он был обнаружен.

Калий (K), 19, 1807; от арабского слова «алькали» (зола растений).

Калифорний (Cf), 98, 1950; по названию штата Калифорния (США), в котором находится университет, где был получен этот элемент.

Кальций (Ca), 20, 1808; от латинского слова «calcis» (известь, или окись кальция).

Кислород (O), 8, газ, 1771; от французского слова «oxugène» (производитель кислоты). Он является составной частью кислот.

Кремний (Si), 14, 1824; от латинского слова «silis» — кремнь.

Криптон (Kr), 36, газ, 1898; от греческого слова «kryptos» — скрытый.

Ксенон (Xe), 54, газ, 1898; от греческого слова «xenos» — незнакомец.

Кюрий (Cm), 96, 1944; назван в честь Марии и Пьера Кюри.

Лантан (La), 57, 1839; от греческого слова «lanthanein» — скрыто лежать.

Литий (Li), 3, 1817; от греческого слова «lithos» — камень.

Лютеций (Lu), 71, 1907; от «Lutetia» — старого романского названия Парижа.

Магний (Mg), 12, 1808; от «magnesia lithos» (магнезиальный камень) — белого минерала, найденного в районе Магнезия, в древней Греции.

Марганец (Mn), 25, 1774; от итальянского слова «manganese», искаженного латинского слова «magnesi» — магний.

Медь (Cu), 29, доисторические времена; от латинского слова «Cuprum» (Купрум) или «Cyprium» (Киприум); «Cyprius» (остров Кипр) был основным поставщиком меди для романских народов.

Менделевий (Md), 101, 1955; в честь великого русского химика Дмитрия Ивановича Менделеева.

Молибден (Mo), 42, 1781; от греческого слова «molybdos» (свинец); молибден обнаружен в руде, которая, как считали раньше, должна была быть свинцовой рудой.

Мышьяк (As), 33, средние века; от греческого слова «arsenikon» — «желтая окраска». Греки когда-то использовали соединения мышьяка (трисульфид мышьяка) в качестве красителя.

Неодим (Nd), 60, 1885; от греческих слов «нео» (новый) и «didymos» (близнецы); неодим и празеодим были выделены из вещества, раньше называвшегося «диодимом» и считавшегося простым элементом, подобным лантану.

Неон (Ne), 10, газ, 1898; от греческого слова «neos» (новый).

Нептуний (Np), 93, 1940; назван в честь планеты Нептун.

Никель (Ni), 28, 1751; от немецкого слова «kupfer-nickel» — «дьявольская медь».

Ниобий (Nb), 41, 1801; в честь Ниобии, дочери Тантала (взяты из греческой мифологии); ниобий когда-то считался тождественным с танталом и примерно до 1844 г. назывался танталом. Однако его первоначальное и долгое время неизменное название было колумбит (символ Cb).

Олово (Sn), 50, доисторические времена; символ произошел от латинского названия «stannum».

Осмий (Os), 76, 1804; от греческого слова «osme» — запах.

Палладий (Pd), 46, 1803; в честь астероида Паллас, открытого в 1801 г.

Платина (Pt), 78, XVI век; от испанского слова «platina» — серебро.

Плутоний (Pu), 94, 1940; от названия планеты Плутон.

Полоний (Po), 84, 1898; открыт супругами Кюри и был назван в честь родины Марии Кюри — Польши.

Празеодим (Pr), 59, 1885; от греческих слов «prasios» (зеленый) и «didymos» (близнецы). Его соли имеют зеленый цвет и легко путались с солями неодима.

Прометий (Pm), 61, 1945; в честь Прометея, одного из греческих титанов, похитившего у богов огонь для людей.

Протактиний (Pa), 91, 1917; слово «proto» означает первый, т. е. «первоактиний». Протактиний, распадаясь, переходит в актиний.

Радий (Ra), 88, 1898; от латинского слова «radius» (луч). Он испускает радиоактивные лучи.

Радон (Rn), 86, газ, 1900; название произошло от радия, суффикс «-он» используется для всех инертных газов. Радон является продуктом распада радия и сам радиоактивен. Когда-то он назывался «нитоном» (символ Nt), что означает — сверкающий.

Рений (Re), 75, 1925; назван в честь реки Рейн (по-латыни — Rhenus).

Родий (Rh), 45, 1803; от греческого слова «rhodon» (розовый). Некоторые его соли имеют розовую окраску.

Ртуть (Hg), 80, жидкость, доисторические времена; название «hydrargyrum» (гидраргирум — серебряная вода) произошло от греческих слов «hydros» (вода) и «argyros» (серебро).

Рубидий (Rb), 37, 1861; от латинского слова «rubidus» (красный). Он был открыт с помощью спектроскопа, и в его спектре имеются красные линии.

Рутений (Ru), 44, 1844; в честь России (по-латыни «Ruthenia» — Россия).

Самарий (Sm), 62, 1879; от минерала самарскита, названного так в честь русского горного инженера Самарского.

Свинец (Pb), 82, доисторические времена; символ произошел от латинского названия свинца — «plumbum».

Селен (Se), 34, 1818; «Selene» — по-гречески Луна. Получил такое название из-за сходства с теллуром, который был назван так в честь Земли.

Сера (S), 16, доисторические времена; символ произошел от латинского слова «sulfur».

Серебро (Ag), 47, доисторические времена; символ произошел от романского названия серебра — «argentum».

Скандий (Sc), 21, 1879; назван в честь Скандинавии.

Стронций (Sr), 38, 1808; от названия минерала стронцианит (Strontian — район Шотландии).

Сурьма (Sb), 51, средние века; символ произошел от старого латинского названия «stibium».

Таллий (Tl), 81, 1861; по-гречески «thallos» — выскочка. Получил такое название из-за яркой зеленой линии в его спектре.

Тантал (Ta), 73, 1802; назван так из-за трудности выделения его. По греческой мифологии, Тантал, сын Зевса и отец Ниобеи, был наказан и должен был стоять на коленях в воде, уровень которой падал, когда он пытался напиться.

Теллур (Te), 52, 1783; от латинского слова «Telluris» — Земля.

Тербий (Tb), 65, 1843; назван в честь Иттерби в Швеции.

Технеций (Tc), 43, 1937; от греческого слова «technetos» — искусственный. Он был первым искусственно полученным элементом.

Титан (Ti), 22, 1791; в честь греческих мифических существ — титанов.

Тулий (Tu), 69, 1879; от «Thule», старого названия северной части Скандинавии.

Углерод (C), 6, доисторические времена; символ произошел от латинского слова «carbo» — уголь.

Фермий (Fm), 100, 1953; назван в честь физика Энрико Ферми.

Фосфор (P), 15, 1669; от греческого слова «phosphoros» — носитель света.

Франций (Fr), 87, 1939; назван в честь Франции.

Фтор (F), 9, газ, 1886; от латинского слова «fluo» (текучий). Плавиковый шпат (сложное соединение фтора) часто используется в качестве флюса.

Хлор (Cl), 17, газ, 1774; от греческого слова «chloros» (светло-зеленый). Газообразный хлор имеет зеленовато-желтую окраску.

Хром (Cr), 24, 1797; от греческого слова «chroma» (цвет). Он используется в качестве краски (например, «хром желтый»).

Цезий (Cs), 55, 1860; от латинского слова «caesies» (голубой). Цезий и рубидий были первыми элементами, открытыми Робертом Бунзеном и Густавом Кирхгофом по их спектральным линиям; цезий был идентифицирован по голубым линиям.

Церий (Ce), 58, 1803; в честь астероида «Ceres» (Церес), открытого в 1801 г.

Цинк (Zn), 30, XVII век; название произошло от немецкого слова «Zink».

Цирконий (Zr), 40, 1789; название произошло от минерала циркона, в котором он впервые был обнаружен.

Эйнштейний (Es), 99, 1952; в честь великого физика Альберта Эйнштейна.

Эрбий (Er), 68, 1843; в честь Иттерби в Швеции, где были обнаружены многие редкоземельные руды.

СОДЕРЖАНИЕ

От издательства	3
От редактора перевода	4
Предисловие	7
 АТОМ	 9
Что такое элемент?	15
Атомы в молекулах	34
Первые элементы	48
От алхимии к химии	53
Периодическая таблица	59
Распознавание элементов с помощью спектроскопа . . .	67
Переработка элементов	86
Органические соединения (<i>Мэлвин Кельвин</i>)	100
 АТОМНОЕ ЯДРО	 108
Как сделать циклотрон (<i>Эрнест Лоуренс</i>)	111
Технеций — значит «искусственный» (<i>Эмилио Сегре</i>) . .	125
За ураном	131
Нептуний (<i>Эдвин Макмиллан</i>)	134
Выход из тупика	145
Открытие в грибовидном облаке	161
Погоня за 17 атомами (<i>Альберт Гиорсо, Бернард Дж. Гарвей, Грегори Р. Чоппин, Стенли Дж. Томпсон</i>) . .	176
Неоткрытые элементы	186
Наука не стоит на месте (<i>Дополнение переводчика</i>) . .	189

ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ	202
Воздух	214
Океан	216
Земная кора	219
ВСЕЛЕННАЯ	227
«Обмен веществ» в космосе	235
Рождение Вселенной (<i>Отто Струве</i>)	243
ПРИЛОЖЕНИЕ	254

Г.Т.СИБОРГ и Э.Г.ВЭЛЕНС

ЭЛЕМЕНТЫ ВСЕЛЕННОЙ



Из чего состоит вещество, как устроен мир, в котором мы живем и частью которого являемся,— вот вопросы, о которых живо и увлекательно рассказывают авторы данной книги. Диапазон охваченных ими явлений грандиозен—от атома до Вселенной! Но не думайте, что всё это рассказано скороговоркой, что книга скучна и громоздка. Напротив, ее можно прочесть, не отрываясь, от корки до корки. Громадное количество рисунков и фотографий делают знакомство с книгой настолько интересным и необычным, что моментами это больше походит на просмотр кадров кинофильма, чем на чтение книги.

В 1959 г. в США книга получила ежегодную премию за лучшую научную книгу для юношества, учрежденную Эдисоном.



Цена 70 коп.

Один из авторов книги Глен Сиборг — всемирно известный химик-ядерщик, лауреат Нобелевской премии, руководитель работ по созданию трансурановых элементов в США. Отдельные главы, посвященные новейшим достижениям науки, ее последним открытиям, писались самими авторами этих открытий (Лоуренсом, Серге, Струве и др.). Немногие из научно-популярных книг могут похвастать таким подбором авторов.

Посвященная детям книга будет с увлечением прочитана и взрослыми, потому что интереснейшие вещи, рассказанные и показанные авторами, не оставят равнодушными ни школьника, ни ученого.

P _m	S _m	E _u	G _d	T _b	D _y
N _p	P _u	A _m	C _m	B _k	C _f