

Г. Н. Флёров
А. С. Ильинов

ученые
ДЭ
школьники

На пути к сверхэлементам





ГЕОРГИЙ НИКОЛАЕВИЧ ФЛЕРОВ — советский физик, академик АН СССР, Герой Социалистического Труда. Родился в 1913 г., окончил Ленинградский политехнический институт имени М. И. Калинина. Научную работу начал в 1937 г., еще будучи студентом, в лаборатории И. В. Курчатова.

Г. Н. Флеров на протяжении последних 20 лет директор Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в Дубне. Здесь под его руководством выполнен ряд основополагающих исследований по физике тяжелых ионов, открыто 6 новых элементов таблицы Д. И. Менделеева.

Г. Н. Флерову совместно с К. А. Петржаком принадлежит открытие спонтанного деления ядер, сделанное в 1940 г. За выдающиеся исследования, имеющие большое научное и



практическое значение, Г. Н. Флеров не раз отмечался высокими правительственными наградами. Г. Н. Флеров — лауреат Ленинской и Государственных премий СССР.

АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ ИЛЬИНОВ — кандидат физико-математических наук, физик-теоретик.

Родился в 1944 г., окончил физико-технический факультет Томского политехнического института в 1968 г.

А. С. Ильинов занимается проблемами теории ядерных реакций. Он сотрудник Института ядерных исследований АН СССР.

А. С. Ильинов — автор 50 научных работ, один из авторов открытия 106-го и 107-го элементов.

Г. Н. Флеров,
А. С. Ильинов

Библиотечка
Детской
энциклопедии



На пути к сверхэлементам

Редакционная
коллегия:

И. В. Петрянов
(главный редактор),
И. Л. Кнузянц,
А. Л. Нарочницкий



Соратнику Александру Михайловичу
с новгородскими пограничниками
и нашими юными пограничниками
поздравляю вас этой "печкой"
о 25 летние юные "гидрофизики"
и "радиоинженеры"
Москва
«Педагогика», 1977

20/11/77, Г. Флеров

Артоболевский И. И.	Кедров Б. М.
Банников А. Г.	Ким М. П.
Благой Д. Д.	Кузин Н. П.
Брусничкина Р. Д.	Кузовников А. М.
Буцкус П. Ф.	Леонтьев А. Н.
Ворожейкин И. Е.	Лурия А. Р.
Воронцов-	Михалков С. В.
Вельяминов Б. А.	Нечкина М. В.
Генкель П. А.	Панагин Ф. Г.
Герасимов С. А.	Петрянов И. В.
Гончаров А. Д.	Разумный В. А.
Горшков Г. П.	Соловьев А. И.
Данилов А. И.	Тимофеев Л. И.
Джибладзе Г. Н.	Тихвинский С. Л.
Долинина Н. Г.	Тяжелытников Е. М.
Дубинин Н. П.	Хачатуров Т. С.
Иванович К. А.	Цаголов Н. А.
Измайлов А. Э.	Царев М. И.
Кабалевский Д. Б.	Чепелев В. И.

Флеров Г. Н., Ильинов А. С.

Ф71 На пути к сверхэлементам. М., «Педагогика», 1977.

112 с. с ил. (Библиотечка Детской энциклопедии «Ученые — школьнику»).

Из книги юные читатели узнают о том, как за последние 35 лет ученые открыли 14 последних элементов таблицы Д. И. Менделеева. Однако до границы периодической системы еще далеко. Физики предполагают, что должны существовать сверхтяжелые элементы, настолько долгоживущие, что их можно обнаружить во Вселенной.

Читатель узнает о мощных установках, которые строят в своих лабораториях физики, чтобы достичь желанной цели — острова Стабильности — места «обитания» тяжелых и долгоживущих элементов.

На пути к сверхэлементам первооткрывателей ждет много неизвестного и увлекательного!

Ф 60700-055 41-77
005(01)-77

530.4

Загадки периодического закона

С давних пор человек задавал себе вопросы: из чего состоит окружающий мир? Почему вокруг нас столько самых разнообразных веществ, находящихся в газообразном, жидком, твердом состояниях? Можно ли превращать одни вещества в другие или получать новые, ранее неизвестные? И только около двух столетий назад стало известно, что все многообразие окружающих нас веществ — это результат разнообразных сочетаний сравнительно малого числа химических элементов. Но свойства элементов казались совсем не связанными друг с другом. Никто не мог сказать, должен появиться новый элемент или нет, а если его случайно и открывали, то облик «новорожденного» подчас был полной неожиданностью для первооткрывателей. А список элементов рос с каждым годом, и ко второй половине XIX столетия их уже насчитывалось около шести десятков.

Открытие Д. И. Менделеева. В любой отрасли науки на определенной ступени развития наступает такой период, когда нужно систематизировать накопленные знания. В биологии, например, это случилось в конце XVIII в., в физике элементарных частиц — в наше время. Вопрос систематизации химических элементов привлек к себе пристальное внимание в середине XIX в. Являются ли химические свойства элементов случайными, или они изменяются по определенному закону? Над расшифровкой системы, которая связала бы все элементы друг с другом, долгие годы безуспешно бились многие ученые. Лишь в 1869 г. великому русскому ученому Дмитрию Ивановичу Менделееву удалось открыть свой знаменитый периодический закон — один из наиболее фундаментальных законов мироздания.

Сейчас каждый школьник знает, что свойства элементов периодически меняются по мере увеличения их атомного веса. Поэтому элементы можно расположить в таблице в определенном порядке таким образом, что по вертикали и по горизонтали их основные свойства будут подчиняться строгим правилам.

После того как Д. И. Менделеев разместил в своей таблице известные в то время 63 элемента, некоторые клетки оказались еще незаполненными. Опираясь на периодический закон, Менделеев предсказал свойства многих еще не открытых элементов. Уже в 1875 г. был открыт «экаалюминий» (галлий), еще через четыре года — «экабор» (скандий), а в 1886 г. — «экасилиций» (германий). Это был настоящий триумф периодической системы! И в последующие 50 лет таблица Менделеева служила надежным компасом в поисках химических элементов в природных минералах. Эти поиски завершились открытием еще трех десятков элементов.

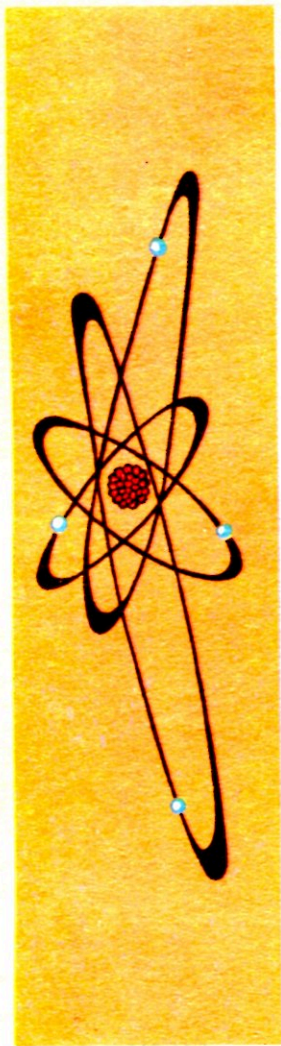
Атомный ключик. Однако ни Менделеев, ни другие выдающиеся ученые его времени не могли ответить на вопрос, в чем причины периодичности свойств элементов. В этом отношении открытие Менделеева принадлежало будущему — оно таило в себе ростки величайших открытий, которые привели к бурному развитию физики и химии. Интуитивно Менделеев чувствовал, что ключ к ответу природа прячет в считавшейся тогда самой мелкой частичке вещества — в атоме. Менделеев писал: «Легко предположить, но ныне пока еще нет возможности доказать, что атомы простых тел суть сложные существа, образованные сложением некоторых еще меньших частей... Выставленная мною периодическая зависимость между свойствами и весом, по видимому, подтверждает такое предчувствие».

Только в начале XX в., спустя 40 лет после создания периодической системы элементов, подтвердилась пра-

вильность этих слов. Э. Резерфорд доказал, что атом представляет собой сложную систему, в центре которой находится положительно заряженное ядро, а вокруг него на разных орбитах вращаются отрицательно заряженные электроны. Н. Бор дал квантовое объяснение этой планетарной модели атома. Была заложена основа современной физики, и началось изучение странного и необычного мира микроскопических частиц вещества. Физика переживала вторую молодость: была создана квантовая механика, появились новые области исследований — атомная и ядерная физика. Революция в физике оказала огромное влияние не только на естественные науки, но и на промышленность, на мировоззрение людей. Не случайно XX век часто называют атомным!

Достижения атомной физики решили многие неясные проблемы периодической системы. Прежде всего оказалось, что место элемента в периодической таблице определяется не атомным весом, а зарядом ядра. Порядковый номер элемента в таблице Менделеева равен заряду его ядра, подсчитанного в единицах заряда электрона. Но главное, теперь стала понятна природа





химических свойств элементов. Дело в том, что электронные орбиты в атоме расположены не равномерно в пространстве, а группируются в оболочки. Каждая оболочка может вместить вполне определенное число электронов: первая — 2, вторая — 8, третья — 18, четвертая — 32. Эти числа точно соответствуют числам элементов в периодах.

Химические свойства элементов определяются тем, сколько электронов находится на внешней электронной оболочке его атома. Например, щелочные металлы имеют на внешней оболочке по одному электрону, поэтому при химической связи с другими элементами они легко его отдают. Легкость отдачи электронов как раз и определяет металлические свойства. Неохотно в химические взаимодействия вступают атомы инертных газов, внешняя электронная оболочка которых заполнена и которые замыкают собой период таблицы Менделеева. Таким образом, периодичность изменения химических свойств элементов отражает периодичность заполнения электронных оболочек.

Где граница периодической таблицы? Объяснение периодич-

ности химических свойств элементов было крупным достижением атомной физики. В то же время периодический закон хранил в себе еще много загадок. Остался открытым основной вопрос, который волновал и Д. И. Менделеева: сколько элементов содержится в периодической системе, где проходит ее граница?

В поисках ответа на очередную загадку периодической системы ученые проникли внутрь электронной «кожуры» атома. Теперь их интересовала судьба ближайших к ядру электронов, на которые действует со стороны ядра самая большая электростатическая сила притяжения. Чем больше заряд ядра, т. е. чем больше порядковый номер элемента, тем сильнее притягиваются к ядру внутренние электроны. В конечном итоге должен наступить момент, когда они начнут захватываться ядром.

Расчеты показывают, что такая катастрофическая ситуация должна возникнуть при порядковом номере элемента, приблизительно равном 170—180. Элементы с большим порядковым номером существовать не могут — поглощение отрицательно заряженного электрона уменьшает заряд ядра.

Однако решение проблемы границы таблицы Менделеева было спрятано природой еще глубже. Последующий прогресс физики показал, что границу существования элементов определяет не нестабильность электронной оболочки атома, а нестабильность самого ядра — источника электрического поля, в котором формируются электронные оболочки.

Развитие физики вглубь продолжалось, и ответ на следующий основной вопрос периодической системы Менделеева должна была дать ядерная физика, которая изучала частицы вещества с размерами в десятки тысяч раз меньшими, чем размеры когда-то считавшегося неделимым атома. Мы расскажем о том, каких успехов удалось достичь в этом направлении за последние тридцать лет.

Немного о ядрах. Что нового узнали о периодической системе физики-ядерщики? Оказалось, даже такой микрообъект, как ядро, сам состоит из более мелких частиц — протонов и нейтронов. Свойства этих частиц очень схожи, поэтому часто их называют одним словом — нуклоны. Основное отличие заключается в том, что протон обладает положительным электрическим зарядом, по величине равным заряду электрона, а нейтрон электрически нейтрален. Заряд ядра Z , а значит, и порядковый номер элемента в периодической таблице равен числу протонов в ядре. Массовое число A , определяющее атомный вес элемента, равно сумме чисел нейтронов N и протонов Z в ядре: $A = Z + N$.

В каждой клетке таблицы Менделеева располагается несколько атомов-«близнецов» одного элемента, ядра которых имеют одинаковое число протонов, но разное число нейтронов. Такие ядра называют изотопами. Для того чтобы можно было отличить один изотоп от другого, рядом с названием элемента обычно ставится массовое число, например: уран-238. Часто применяют более короткое обозначение: ${}_{92}^{238}U$, где наряду с химическим символом элемента указывают массовое число (вверху) и заряд его ядра (внизу).

Химические свойства разных изотопов одного и того же элемента не отличаются, поскольку они определяются только зарядом ядра, а вот ядерные меняются в огромных пределах. В частности, установлено, что очень стабильны изотопы, имеющие четное число протонов и четное число нейтронов в ядре. И наоборот, очень нестабильны нечетные ядра, и особенно ядра с нечетным числом протонов Z и нечетным числом нейтронов N . Нечетные изотопы легко вступают в различные ядерные реакции. Достаточно сказать, что возможность

использования ядерной энергии связана с так называемой большой тройкой: ураном-235, плутонием-239 и ураном-233. Массовое число изотопа наравне с атомным номером определяет ядерные свойства каждого изотопа. Поэтому в периодическую таблицу к обычной координате (число протонов Z) нужно добавить дополнительную (число нейтронов N), которая указывала бы на массовое число изотопа. Таблица Менделеева трансформируется в карту изотопов (см. с. 12—13).

Сколько изотопов может быть у одного элемента? Многие элементы имеют несколько стабильных изотопов, т. е. таких, время жизни которых бесконечно. В природных минералах или в химически чистом образце элемента обычно содержится смесь «бессмертных» изотопов. Все стабильные изотопы имеют характерное соотношение между числом нейтронов и числом протонов. Для легких ядер в начале таблицы у стабильных изотопов число нейтронов равно числу протонов. С ростом заряда ядра это соотношение меняется, и у стабильных тяжелых ядер нейтронов уже в полтора раза больше, чем протонов.

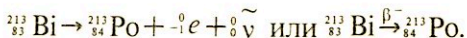
Число нестабильных изотопов значительно больше. «Семья» тяжелого элемента может состоять из нескольких десятков «близнецов», у которых соотношение между нейтронами и протонами отклоняется в ту или иную сторону от оптимального. Что произойдет, если мы, например, прибавим к стабильному ядру несколько нейтронов? Оно будет стремиться избавиться от лишних нейтронов и превратится в конечном итоге в ядро стабильного изотопа другого элемента.

Ядерные метаморфозы. Явление самопроизвольного превращения атомных ядер, когда ядро одного элемента превращается в ядро другого элемента без всякого воздействия извне, назвали радиоактивностью. Радиоактивность открыл в 1896 г. А. Беккерель. А из этого открытия следовал важный вывод: ядро не является прос-

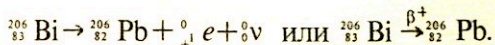
тейшей частичкой вещества, неизменной и недоступной внешнему воздействию. Действительно, в 1919 г. Э. Резерфорд впервые разрушил атомное ядро и превратил один элемент в другой, осуществив тем самым вековую мечту алхимиков. В 1934 г. Фредерик и Ирэн Жолио-Кюри получили первые искусственные радиоактивные изотопы. Вот где лежат истоки современных работ по синтезу новых элементов!

Было открыто несколько видов радиоактивного распада ядер. Выберем для примера ядра висмута (Bi) и посмотрим, в ядра каких элементов они смогут превратиться в результате радиоактивного распада.

В ядре, пересыщенном нейтронами, один из них превращается в протон, и при этом из ядра вылетают электрон ${}^0_{-1}e$ и антинейтрино ${}^0_0\bar{\nu}$. (Антинейтрино — элементарная частица, которая в отличие от электрона не имеет ни массы покоя, ни заряда.) В результате образуется ядро соседнего элемента, заряд которого будет на единицу больше, а массовое число останется прежним. Такой вид радиоактивности был назван β^- -распадом — электронным распадом. Это превращение изображают так:

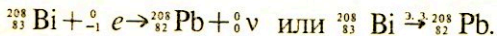


Наоборот, в ядре с недостатком нейтронов происходят превращения, которые ведут к уменьшению заряда ядра. В этом случае число возможных типов распада значительно больше. Например, протон может превратиться в нейтрон с испусканием из ядра позитрона ${}^0_{+1}e$ (антиэлектрона с положительным зарядом) и нейтрино ${}^0_0\nu$ — позитронный или β^+ -распад:



Или протон может захватить с ближайшей электронной оболочки атома электрон и превратиться в нейтрон —

такой вид радиоактивного распада называют электронным захватом:



В обоих случаях заряд ядра уменьшается на единицу, атомное же число не меняется. Возможно также испускание α -частицы (ядра гелия с массой $A=4$ и зарядом $Z=2$) с соответствующим уменьшением массы ядра на 4 единицы и заряда на 2 единицы — α -распад:



Чем больше избыток или недостаток нейтронов в ядре, чем дальше ядро удалено от наиболее стабильного изотопа, тем быстрее оно превращается в другое ядро, тем меньше время его жизни. Если стабильные изотопы, из которых построен окружающий нас мир, живут вечно, то их «бедные» или «богатые» нейтронами «родственники» — годы, часы, секунды или даже тысячные доли секунды в зависимости от того, насколько они близки к «долгожителям».

Карта изотопов. Нарисуем карту изотопов, роль координат в которой будут играть числа протонов Z и нейтронов N в ядре, а цветом, как высоту на географических картах, будем изображать время жизни изотопа. Тогда область возможных ядер можно представить себе в виде материка, вдоль которого протянулся горный хребет стабильных изотопов, окруженный обширными долинами радиоактивных нейтронодефицитных и нейтронообогащенных ядер. Материк Стабильности окружает море Нестабильности. Ядра, лежащие на дне моря, недоступны изучению — они погибают мгновенно.

Горный хребет занимает малую часть материка — известно около 300 стабильных изотопов. После открытия супругами Жолио-Кюри искусственной радиоак-

Карта изотопов. По горизонтальной оси отложено число нейтронов, а по вертикальной — число протонов в ядре.

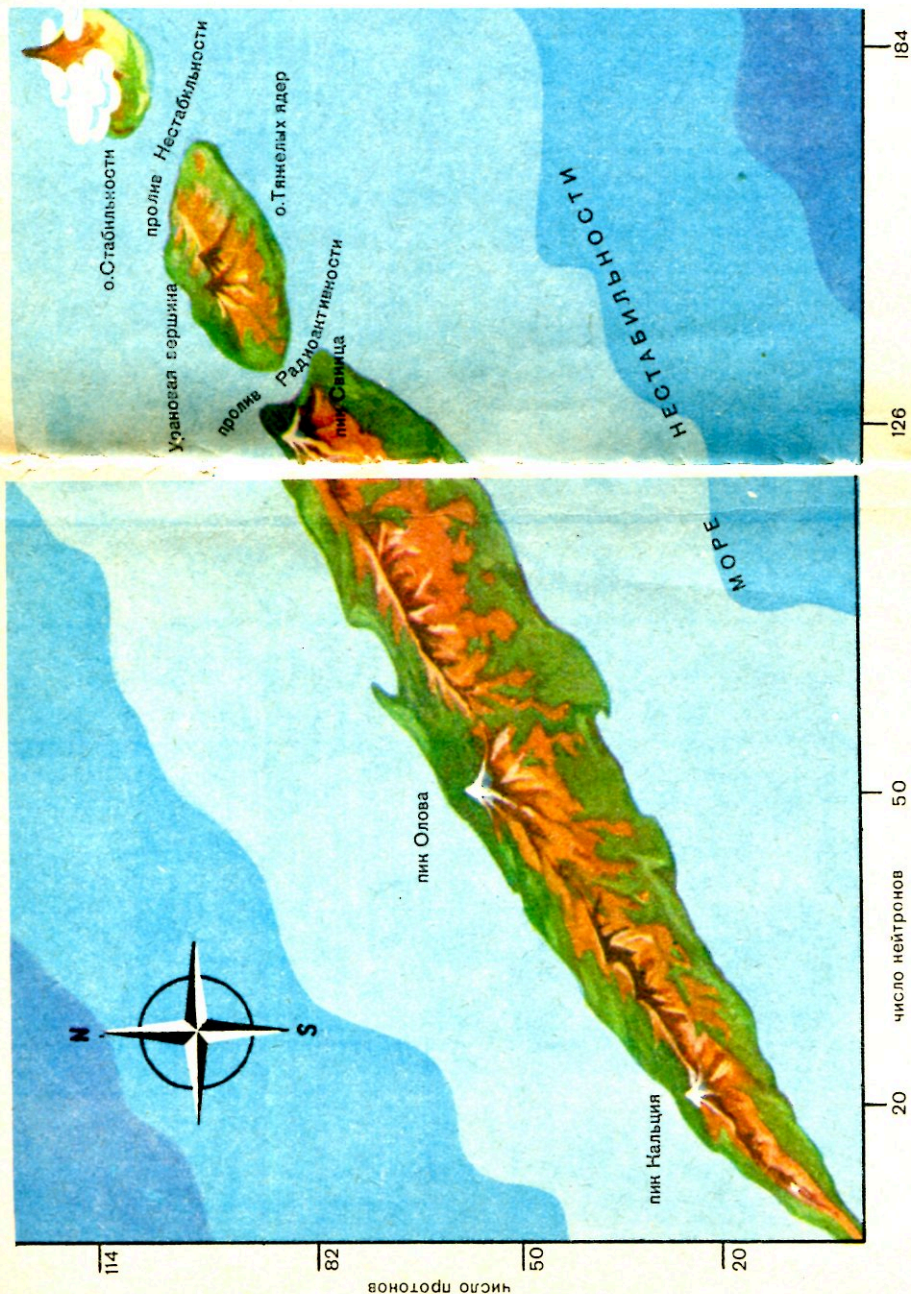
Цифрами отмечены магические числа.

Голубым цветом окрашены области ядер, время жизни которых заключено в интервале между 10^{-10} с и 1 с, зеленым — между 1 с и 1 годом, светло-коричневым — между 1 годом и 1 млрд. лет. Темно-коричневым цветом отмечены стабильные ядра, живущие более 1 млрд. лет. Белым цветом показаны «магические» вершины.

За рамками карты лежат еще не изученные «земли».

Путь к другим островам архипелага Стабильности лежит дальше на северо-восток от первого острова.

Материк Антиядер простирается к юго-западным окраинам материка Стабильности. Далеко на востоке расположен материк Звездного вещества — нейтронных капель.



тивности ученые синтезировали еще более 1800 нестабильных изотопов известных элементов. По подсчетам это составляет всего лишь третью часть полного числа ядер. Для того чтобы освоить необъятные просторы материка Стабильности и добраться до побережья моря Нестабильности, ученым предстоит затратить немало труда. Здесь исследователей ждет еще много загадок и открытий, но наш путь будет лежать дальше: через пролив Радиоактивности к острову Тяжелых ядер.

Последний естественный элемент. На юго-западе острова Тяжелых ядер возвышается двуглавая вершина. Это торий ($Z = 90$) и уран ($Z = 92$). Ядро урана самое тяжелое из найденных в природе. Открыт этот элемент был еще в 1789 г. В 1874 г. Д. И. Менделеев поместил его в самую дальнюю клетку периодической таблицы, и в течение 70 лет уран оставался последним элементом таблицы. Особое положение элемента № 92, естественно, привлекло к нему пристальное внимание ученых. Д. И. Менделеев писал: «Убеденный в том, что исследование урана, начиная с его природных источников, поведет еще ко многим новым открытиям, я смело рекомендую тем, кто ищет предметов для новых исследований, особенно тщательно заниматься урановыми соединениями».

Остается только удивляться гениальной прозорливости творца периодической системы. Действительно, именно в таких исследованиях было сделано важнейшее в ядерной физике открытие явления радиоактивности. Вскоре после этого, в 1898 г., Мария и Пьер Кюри выделили из урановой смолки первые радиоактивные элементы — полоний и радий. Спустя 40 лет О. Ган и Ф. Штрассман открыли процесс деления ядер урана нейтронами. Наконец, в 1939 г., на заре атомной эпохи, одному из нас вместе с К. А. Петржаком посчастливилось доказать, что ядра урана могут делиться самопро-

извольню, без воздействия извне. Был открыт новый необычный тип радиоактивного распада — спонтанное деление, который существует в области тяжелых ядер. Дело в том, что огромные электростатические силы расталкивания между таким большим числом протонов могут привести не только к вынужденному, но даже к самопроизвольному делению ядра на два приблизительно равных осколка. При этом выделяется огромная энергия, заключенная в ядре. Открытие процесса деления ядер дало человечеству новый мощный источник энергии, овладение которым привело к созданию в 50-х годах XX в. ядерной энергетики.

Шахматная задача. Попытаемся разобраться, почему в природе не было обнаружено ядер тяжелее урана. Для этого нам нужно перенестись в те далекие времена, когда еще не было не только Земли, но и Солнечной системы. Свыше 5 млрд. лет назад, когда огромные массы галактического водорода сжались и в результате резко повысилась его температура, ядра водорода начали образовывать более сложные ядра других элементов. Произошел синтез элементов Солнечной системы. В то время образовались всевозможные ядра — и стабильные, и нестабильные, но судьба их сложилась по-разному. Образовавшиеся во время великого синтеза стабильные «бессмертные» изотопы благополучно дожили до наших дней, а нестабильные ядра с того времени непрерывно вымирали.

Определим, какая часть первозданных атомов какого-нибудь нестабильного изотопа «выживет», если его период полураспада равен 100 млн. лет. Как правило, для древних задач есть старые способы решения.

Как гласит предание, великий магараджа предложил изобретателю шахмат выбрать награду себе за труды. Мудрец попросил, казалось бы, совсем немного зерна: столько, сколько придется на 64-ю клетку шахматной доски, если на первую положить два зерна (2^1), на

вторую — четыре (2^2), на третью — восемь (2^3)... и так удваивать до 64-й клетки. Но после простого подсчета стало ясно, что на последнее шахматное поле придется отгрузить намного больше годового урожая всей Земли!

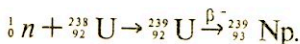
Распад ядер подчиняется обратному «шахматному» закону. Природа поместила наш изотоп в 50-ю клетку шахматной доски и каждые сто миллионов лет переключала его на соседнюю с меньшим номером и с половинной массой вещества. Всего процесс занял 5 млрд. лет, а сохранилась только 10^{-15} доля первозданного вещества. Это означает, что все нестабильные изотопы с периодом полураспада меньше 100 млн. лет, в том числе и изотопы всех трансурановых элементов, практически давным-давно вымерли.

За урановую вершину вел только один путь — нужно было возродить ядра, вымершие за многие миллиарды лет до появления жизни на Земле! Вряд ли можно предположить, что когда-либо в будущем в лаборатории биолога удастся вырастить живого мамонта или бронтозавра. А возвращение к жизни ядерных «бронтозавров» успешно осуществляется во многих лабораториях мира.

Нейтронный синтез

Первым попытался перешагнуть через поставленную природой границу периодической таблицы итальянский физик Э. Ферми. Выше мы уже писали о том, что если к ядру стабильного изотопа добавить нейтрон, то новое ядро может испытать β^- -распад, в результате которого заряд ядра увеличится на единицу. Это обстоятельство и решил использовать Ферми в своих опытах по синтезу 93-го элемента при облучении урана нейтронами. И хотя в 1934 г. ему не удалось достичь цели, нейтронный способ и по сей день широко применяется для получения многих трансурановых элементов.

Реакторный способ. Поместим большое количество изотопа урана-238 в ядерный реактор, где происходит «сжигание» ядерного горючего путем осуществления цепной реакции деления его ядер. (Кстати, первый в мире ядерный реактор был также построен под руководством Э. Ферми. Запущен в 1942 г. А в 1946 г. заработал первый в СССР и в Европе ядерный реактор, построенный под руководством И. В. Курчатова.) В результате деления ядра кроме двух осколков вылетает еще несколько нейтронов, которые, в свою очередь, вызывают деление новых ядер, каждое из вновь разделившихся ядер опять испускает несколько нейтронов и т. п. Поэтому в реакторе возникают огромные потоки нейтронов (через площадку в 1 см^2 за 1 с проходит до 10^{15} нейтронов), которые и будут облучать наш уран. Ядро урана-238 легко поглощает нейтрон, новое ядро урана-239 испытывает β^- -распад и превращается в ядро 93-го элемента — нептуния-239:

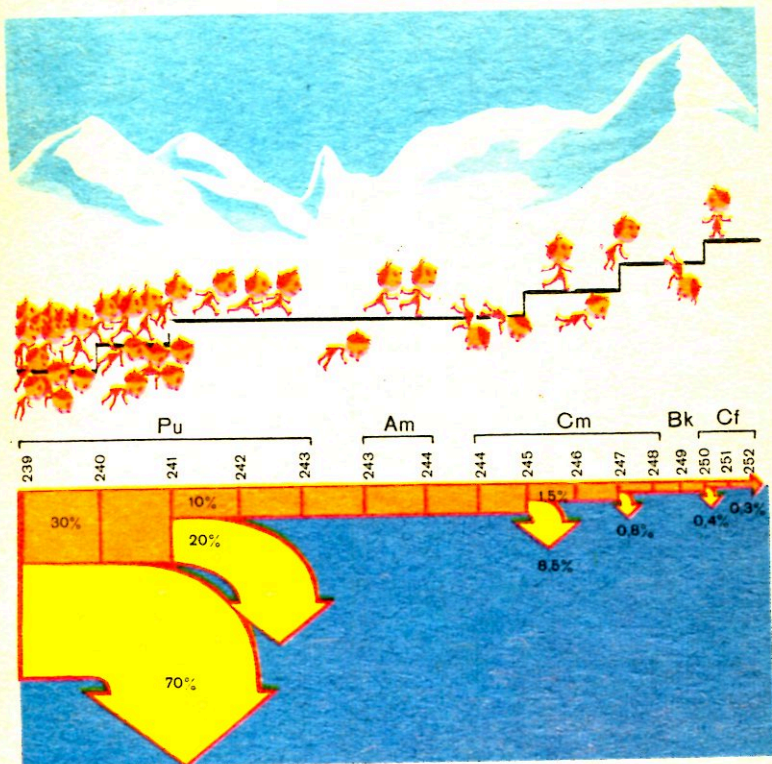


Если облучение в реакторе проводить достаточно долго (год или более), то за это время в нашем образце накопятся довольно большие количества не только нептуния, но и следующих за ним элементов, которые образуются в реакторе в результате дальнейших ядерных превращений. Например, нептуний-239 может за счет β^- -распада превратиться в 94-й элемент — плутоний-239. Затем ядро этого элемента захватывает два нейтрона, после чего плутоний-241 испытывает β^- -распад и превращается в ядро 95-го элемента — америция и т. д. На с. 18 показаны дальнейшие превращения плутония-239 во все более тяжелые элементы.

После длительного облучения урановый образец достают из реактора, и химики извлекают из него и отделяют друг от друга синтетические элементы. Поскольку все эти элементы очень радиоактивны, все

Получение трансураниевых элементов при длительном облучении плутония-239 нейтронами в ядерном реакторе. Стрелки показывают, какую долю начальных ядер «съедает»

деление и другие типы распада. Лишь 0,3% ядер плутония (элемента № 94) могут преодолеть всю цепочку превращений и стать ядрами элемента № 98 — калифорния-252.



операции по их извлечению производятся с особыми мерами предосторожности: за защитными экранами, механическими руками — манипуляторами. Эти про-

цессы осуществляются на огромных химических предприятиях, оснащенных самой передовой техникой.

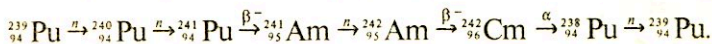
Казалось, для ученых наступила легкая жизнь. Сиди себе у реактора — «инкубатора» и жди, пока «вылупится» новый ядерный «бронтозавр». Но следующие за калифорнием ($Z = 98$) новые элементы упорно не хотели появляться на свет в ядерном реакторе. В чем же дело?

Чем тяжелее получаемый элемент, тем с большими трудностями нам приходится встречаться. Взглянем снова на с. 18. При превращении одного ядра в другое количество начального вещества уменьшается в несколько раз. Дело в том, что не все ядра одного и того же изотопа после поглощения нейтрона испытывают β^- -распад. Большая часть ядер или делится, или распадается другими способами, которые сбивают ядра с «правильного пути». И чем большее число превращений испытает первичный изотоп, тем меньшая доля начальных ядер преобразуется в ядра нужного элемента. (Вспомним еще раз шахматную задачу.)

Но это все технические трудности, которые можно было бы преодолеть, если построить еще



более мощные реакторы. А оказалось, что есть еще трудности принципиальные. На пути к новым элементам другие виды распада расставили коварные ловушки, когда после длинной серии метаморфоз вновь образуется начальный изотоп. К этому, например, может привести α -распад какого-нибудь ядра:



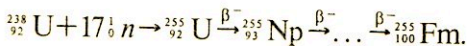
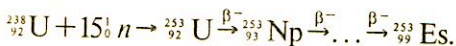
Непреодолимое препятствие для реакторного способа также возникает в результате того, что одно из звеньев в цепочке превращений может выпасть. Такой тупик образуется, когда в этом звене ядро живет очень малое время или полностью распадается нежелательным образом, например распадается путем спонтанного деления.

Рожденные взрывом. Выход из создавшегося тупика помог найти случай. В радиоактивной пыли, образовавшейся после взрыва термоядерного устройства, который был произведен США в 1952 г., были обнаружены неизвестные тяжелые изотопы плутония-244 и плутония-246. Этот факт о многом сказал ученым.

Сгорание термоядерной дейтериево-тритиевой смеси происходит при огромной температуре в сотни миллионов градусов, в течение ничтожного времени — одной миллионной доли секунды. За такой короткий промежуток времени через урановую оболочку бомбы проходит поток нейтронов, намного превышающий поток нейтронов в реакторе.

В таких условиях ядро урана-238 мгновенно захватывает 6 или 8 нейтронов, после чего изотопы урана ${}_{92}^{244}\text{U}$ и ${}_{92}^{246}\text{U}$ испытывают β^- -распад и образуют ядра нептуния ${}_{93}^{244}\text{Np}$ и ${}_{93}^{246}\text{Np}$. В свою очередь, эти ядра также являются β^- -радиоактивными; их последующий распад и приводит к образованию найденных при взрыве изотопов плутония ${}_{94}^{244}\text{Pu}$ и ${}_{94}^{246}\text{Pu}$.

А что если ядро урана успевает захватить 15 или 17 нейтронов? Тогда в продуктах взрыва можно обнаружить 99-й и 100-й элементы!

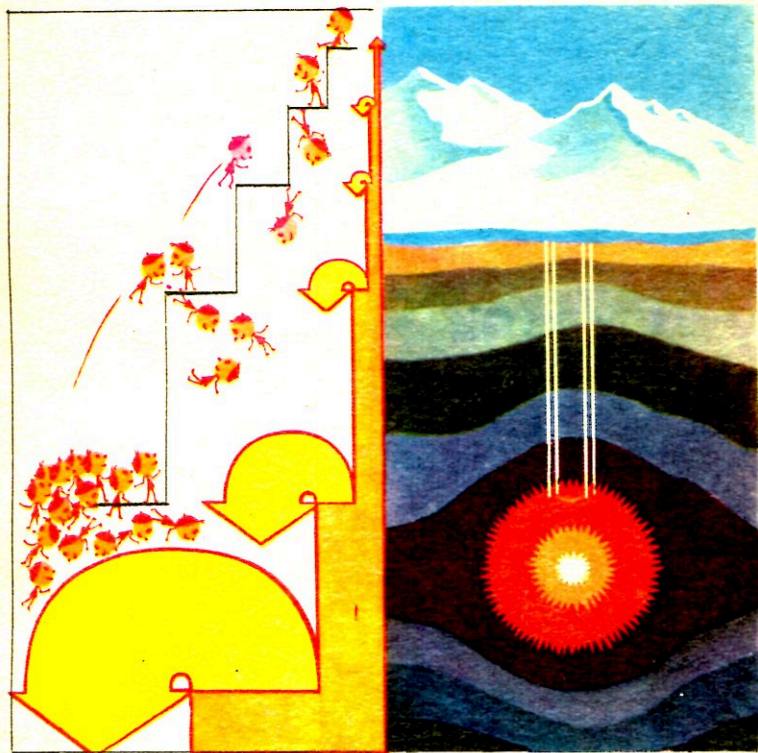


Ученые срочно запрашивают с атолла Эниветок, где произошел взрыв, около тонны кораллов. И вот в результате огромного труда по химической переработке этой породы были выделены ничтожные количества изотопов эйнштейния-253 (элемент № 99) и фермия-255 (элемент № 100). Окрыленные успехом, американские физики строят планы по получению следующих элементов в термоядерных взрывах. Казалось, для достижения цели нужно было только еще увеличить потоки нейтронов. В 60-х годах в США была произведена серия подземных ядерных взрывов. В самом мощном из них поток нейтронов в 10 раз превышал поток первого взрыва. Но тщательнейший анализ продуктов, извлеченных из полости, где только что бушевало ядерное пламя, не обнаружил присутствия новых элементов с порядковым номером больше 100.

Почему же в термоядерных взрывах до сих пор не родился ни один из элементов второй сотни? Несомненно, прыжок через несколько десятков ступеней превращений, который делает ядро, мгновенно поглощая большое число нейтронов, позволяет преодолеть многие препятствия, лежащие на пути ядра в обычном реакторном способе. Уменьшение полного числа превращений ослабляет фатальное действие «шахматного» закона, что приводит к увеличению числа образовавшихся ядер. Но все-таки после «прыжка» должна быть длинная цепочка последовательных β -распадов. Одно из первых звеньев этой цепочки, ведущей к образованию

Получение трансурановых элементов при импульсном облучении нейтронами в подземном ядерном взрыве. Как и в реактор-

ном способе, здесь в каждом новом звене цепочки превращений доля начальных ядер резко уменьшается.



трансураниевых элементов, оказывается разорванным. Это звено разрубил другой могущественный тип радиоактивного распада — спонтанное деление, который царствует в стране тяжелых ядер.

Итак, надежды ученых достичь области более тяжелых элементов, двигаясь вдоль нейтроноизбыточного побережья моря Нестабильности (ядерные реакторы) или прыгнув с урановой вершины далеко в море Нестабильности, а затем подплывая к берегу (термоядерные взрывы), не сбылись. Возможности нейтронного метода синтеза новых элементов, впервые примененного Э. Ферми, были исчерпаны на 100-м элементе, названном фермием. Сейчас таким способом трансфермиевые элементы рождаются только в неземных условиях, близких к тем, при которых происходил начальный синтез во Вселенной. Например, такие процессы могут протекать при взрывах сверхновых звезд или в недрах недавно открытых астрономами необычных звезд — пульсаров, которые являются остатками таких взрывов.

Трансураны

Восемь элементов, завершающих первую сотню периодической таблицы, были открыты американскими учеными. Честь открытия семи из них принадлежит коллективу, возглавлявшемуся крупнейшим радиохимиком Г. Сиборгом. Сейчас физические и химические свойства некоторых трансуранов изучены даже лучше, чем у «старожилов» таблицы Менделеева. Объясняется это огромной ролью, которую играют синтетические элементы в науке и технике XX в.

Атом за работой. Итак, что же дал человеку синтез трансурановых элементов? О научном значении этих открытий мы поговорим позднее. Конечно, хорошо возродить ядерного «бронтозавра», «сфотографировать» и описать его в учебниках. Но ученые не остановились на этом. Они сумели приручить «бронтозавра», заставить его работать на людей, научились использовать его огромную ядерную мощь.

Самым «работящим» из всех трансуранов оказался изотоп плутоний-239. Дело в том, что в современных ядерных реакторах обычно «сжигают» ядра урана-235. Но в природном уране содержится всего 0,7% этого изотопа, а основную массу составляет изотоп урана-238, который не является ядерным горючим. Примерно через сто лет человечество полностью исчерпало бы все земные запасы урана-235.

Здесь-то и пригодились ценные свойства изотопа плутония-239. Оказалось, что это ядерное горючее даже лучшего качества, чем уран-235. Только нужно было найти такой способ попутного превращения «негорючего» урана-238 в плутоний-239, чтобы при работе реактора нового горючего ($^{239}_{94}\text{Pu}$) образовалось бы больше, чем сгорало старого ($^{238}_{92}\text{U}$). В этом случае можно было бы накапливать и увеличивать запасы ядерного топлива.

Основной тип действующих реакторов для этой цели не подходит. Обычно эти реакторы называют «тепловыми», потому что они работают на тепловых нейтронах, скорость которых в среднем равна примерно 2000 м/с. После захвата ядром урана-235 теплового нейтрона в среднем образуется чуть больше двух нейтронов. Один из них нужен для поддержания цепной реакции. Часть нейтронов поглощается конструктивными материалами установки, а остаток идет на образование плутония-239 из урана-238:



Для «тепловых» реакторов остаток меньше единицы, следовательно, при сгорании урановой смеси плутония получается меньше, чем «выгоревшего» урана-235.

Для решения проблемы расширенного воспроизводства ядерного горючего академик АН УССР А. И. Лейпунский предложил использовать реакторы на быстрых нейтронах. Скорость «быстрых нейтронов

превышает 10 000 м/с. Такие реакторы не могут работать на природной смеси изотопов урана — в них нужно загружать или обогащенный уран-235, или плутоний-239. Зато теперь после деления одного ядра на накопление плутония-239 в среднем идет 1,6 нейтрона.

Если в «быстрый» реактор поместить уран-238, то после сгорания 1 кг ядерного топлива кроме огромной тепловой энергии, которую можно преобразовать в электрическую, образуется еще 1,6 кг плутония-239! Принцип цепной реакции можно распространить на сами атомные электростанции: каждая электростанция будет давать ядерное горючее для новых электростанций, увеличение числа работающих электростанций приведет к еще большему росту производимого топлива и т. д. А это означает, что элемент № 94 — плутоний будет главным материалом энергетики будущего!

Область применения изотопов плутония и других синтетических элементов настолько огромна, что для ее описания понадобилось бы несколько таких книг. Мы лишь скажем, что искусственные элементы работают сейчас и в космосе, и глубоко под водой, и в самых труднодоступных уголках земного шара, и в груди человека, помогая биться больному сердцу. На этой основе во многих странах развилась мощная промышленность и энергетика. За короткий промежуток времени (всего около 20 лет) производство синтетических элементов возросло с миллиардных долей грамма до многих килограммов и даже тонн. И этот рост продолжается, вызванный все более и более широким применением рукотворных элементов. Однако возвратимся все же к основной теме нашего рассказа. Какие научные открытия, сделанные при изучении свойств синтетических элементов, обогатили химию и физику, углубили наше понимание периодической системы?

Как устроен 7-й период? Обнаружение всех новых элементов производилось химическим способом. В этом

случае исследователи сначала определяли различные химические свойства нового элемента, а затем сравнивали их с соответствующими свойствами соседей по таблице Менделеева и со свойствами более легкого аналога, т. е. члена той же химической группы. Как видим, все целиком опирается на периодический закон Менделеева.

В те времена, когда уран еще был самым тяжелым из известных элементов, химики помещали в периодической системе торий, протактиний и уран в IV, V, VI группу. Но после того, как были открыты первые трансурановые элементы, химики были удивлены. Нептуний и плутоний по своим свойствам оказались похожи на уран, а не на элементы VII и VIII групп — рений, осмий и иридий. Объяснение помогла найти сама периодическая система. Подобно тому как в 6-м периоде за лантаном следуют 14 лантаноидных элементов, в той же колонке 7-го периода за актинием должно располагаться столь же многочисленное семейство актиноидов. И действительно, все последующие трансурановые элементы оказались похожими на свои аналоги в группе лантаноидов. После этого уточнения периодическая система опять могла надежно предсказывать химические свойства еще не открытых элементов.

Ядерная нестабильность и границы таблицы Менделеева. Очень интересными оказались и радиоактивные свойства ядер трансурановых элементов. В ядрах с таким большим числом нуклонов даже ядерные силы притяжения (самые мощные из известных в природе) уже с трудом сдерживают огромные электрические силы отталкивания между протонами, которые стремятся развалить ядро. Поэтому чем больше порядковый номер ядра, тем меньше его время жизни, тем быстрее оно распадается. Например, ядро плутония-244 живет около 100 млн. лет, ядро калифорния-250 — уже около 10 лет, а ядро фермия-252 — только 20 часов.

Современная периодическая система химических элементов.

период	Г Р У П П А																	
	Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIIb	VIIIb	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIa	He			
1	H 1														He 2			
2	Li 3	Be 4												F 9	Ne 10			
3	Na 11	Mg 12												S 16	Ar 18			
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	La 57-71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	89-103	Ku 104	Ns 105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
8	119	120	121-															

Лантаноиды

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71

Актинοиды

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	Jl	Rf
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

Суперактиноиды

121	122	123	124	125	126
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Виновниками такого катастрофического падения времен жизни трансуранов оказались α -распад и спонтанное деление. Причем, чем тяжелее изотоп, тем большую роль играет второй тип распада, и время жизни — стабильность — элементов второй сотни уже практически целиком определяется спонтанным делением.

Легко продолжить тенденцию уменьшения времен жизни в область еще пока неизвестных ядер. Получается, что изотопы 102-го и 104-го элементов должны жить уже минуты и микросекунды, а ядра 110-го и более тяжелых элементов будут иметь периоды полураспада, измеряемые ничтожной величиной 10^{-15} с. Этого времени недостаточно даже для образования вокруг ядра электронной оболочки. Тогда нет больше смысла говорить о химических элементах.

Итак, стало ясно, что на вопрос о том, где находится граница периодической системы Менделеева, ответ должны дать физики-ядерщики. Казалось, до границы осталось всего несколько шагов, но сделать их было не так просто! Ведь с помощью нейтронного метода — основы синтеза всех трансуранов — нельзя было получить элементы второй сотни.

Тяжелые ионы

Идея о том, как можно преодолеть очередное препятствие на пути к еще более тяжелым элементам, к этому времени уже не только витала в воздухе, но даже была опробована в опытах по получению некоторых трансурановых элементов. Если заставить два ядра слиться в единое целое, то заряд нового ядра станет равен сумме зарядов двух ядер, и мы совершим прыжок в клетку с нужным нам элементом таблицы Менделеева.

Легкая артиллерия. Первые шаги по этому пути были осторожными и робкими. Дело в том, что между

Чтобы частица-снаряд могла слиться с ядром-мишенью, ей нужно преодолеть кулоновский барьер. Чем тяжелее ион, тем выше «гора», на которой расположена ядерная «крепость», тем мощнее должна быть «пушка»-ускоритель. Такой способ преодоления барьера не нов: в свое время им пользовался известный литературный герой — барон Мюнхгаузен.

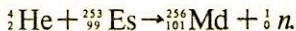
одноименно заряженными ядрами действуют мощные электрические силы отталкивания. А два ядра могут слиться лишь в том случае, если их удастся сблизить так, чтобы поверхности ядер соприкоснулись. Соприкосновению ядер соответствует очень малое расстояние (около 10^{-12} см). Подставьте это число в знаменатель формулы закона Кулона

$F = k \frac{Z_1 \cdot Z_2}{r^2}$, и вы увидите, что слиянию ядер препятствует огромная сила электростатического отталкивания. Следовательно, чтобы ядро могло преодолеть эту силу, или, как говорят физики, кулоновский барьер, его нужно ускорить так, чтобы кинетическая энергия ядра была больше потенциальной энергии электрического взаимодействия.



В 1940—1950 гг. в распоряжении физиков имелись маломощные установки, которые могли ускорять до небольших энергий только простейшие ядра водорода — протоны (${}^1_1\text{H}$), дейтроны (${}^2_1\text{H}$) и гелия — α -частицы (${}^4_2\text{He}$). Поэтому часто использовали комбинированный способ синтеза. Сначала в реакторе получали ядра самого тяжелого известного элемента и из них приготавливали мишень, а потом бомбардировали ее дейтронами или α -частицами. В результате получался элемент с атомным номером на единицу или две большим, чем у ядра-мишени. Теперь не нужно было годами ждать, пока в реакторе накопятся новые элементы. Так были впервые синтезированы 94, 96, 97 и 98-й элементы. Конечно, таким способом нельзя было получить большие количества новых элементов, однако на первых порах этого вполне хватало для изучения их радиоактивных и химических свойств.

Менделевий. Последним элементом, синтезированным с применением «легкой артиллерии», был элемент № 101. Чтобы «новорожденный» появился на свет, экспериментаторам нужно было проявить большое искусство и мастерство. Мишенью в этих опытах служил тонкий, не видимый глазом слой атомов изотопа эйнштейния-253 (всего около миллиарда атомов), который был нанесен на тонкую (тоньше человеческого волоса) золотую фольгу. На ускорителе в Беркли (США) эта фольга облучалась α -частицами. Атомы 101-го элемента получались по схеме:



Летящая со скоростью около 50 000 км/с α -частица выбивала из мишени ядро эйнштейния, ядра нового элемента вылетали из первой фольги и «садились» на расположенную сзади другую золотую фольгу.

Химики со второй фольги собрали всего 17 атомов элемента № 101. Такое ничтожное количество вещества

нельзя ни увидеть в самые мощные микроскопы, ни взвесить на самых точных весах. И все-таки авторы открытия — американские ученые Г. Сиборг, А. Гиорсо и другие — смогли определить некоторые радиоактивные и химические свойства нового элемента.

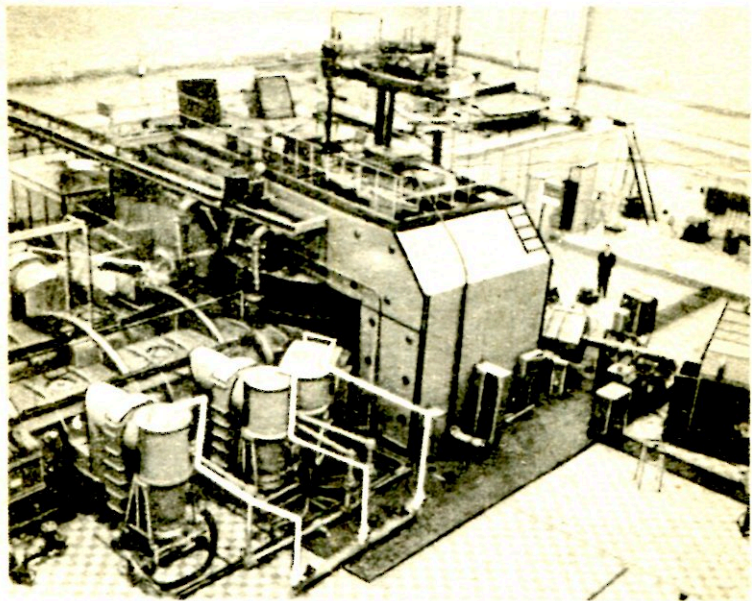
В честь великого русского химика Дмитрия Ивановича Менделеева элемент № 101 был назван менделевием. Это открытие стало прекрасным памятником гениальному творцу периодической системы, которая почти столетие служила и продолжает служить надежным компасом в поисках и синтезе новых элементов.

Менделевий примечателен не только тем, что он открывает собой вторую сотню элементов периодической системы. Его синтез является одним из кульминационных событий в трансурановой эпопее потому, что здесь полностью исчерпали себя старые методы, верно служившие при синтезе девяти трансурановых элементов. Такими шажками, добавляя к ядру-мишени ядра водорода или гелия и продвигаясь вперед на одну-две клетки периодической таблицы, далеко не уйдешь. Все более тяжелые элементы производятся в реакторах во все меньших количествах, а получить элементы с порядковым номером больше 100 для приготовления из них мишеней вообще невозможно. Для дальних «прыжков» в заданную клетку таблицы Менделеева нужно было построить новые мощные установки, способные ускорять ядра разных элементов, или, как обычно говорят, давать пучки тяжелых ионов. Ученым предстояло открыть новую главу в увлекательной книге создания рукотворных элементов и заложить основы нового перспективного направления ядерной физики — физики тяжелых ионов. Поэтому незримую грань, отделявшую 102-й элемент от соседнего, 101-го, физики преодолевали почти одиннадцать лет.

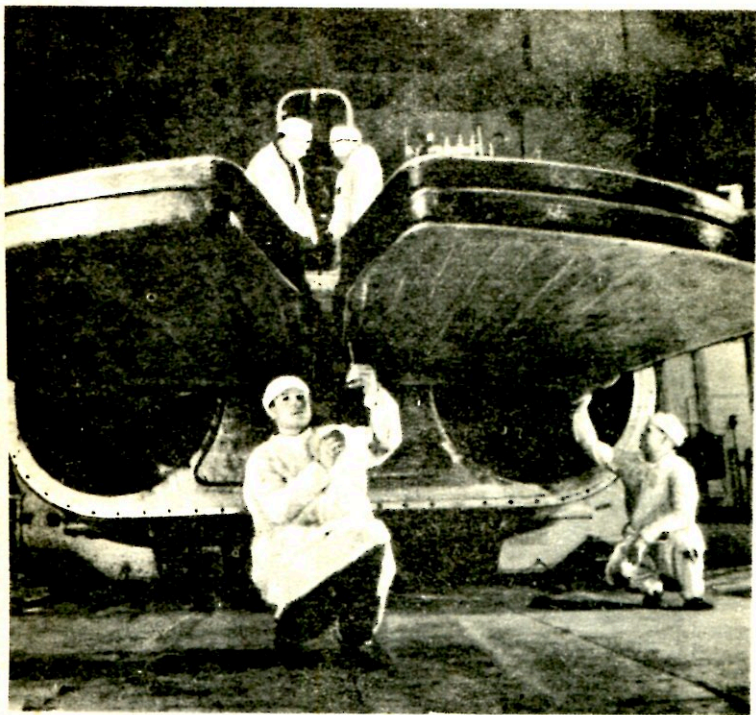
Дубненская «царь-пушка». Подготовка к синтезу трансурановых элементов новым методом, когда вместо

310-сантиметровый
циклотрон Лаборатории
ядерных реакций
Объединенного института

ядерных исследований.
Общий вид ускорителя,
справа — один из его
элементов — дуанты.



нейтронных потоков будут использоваться ускоренные ядра углерода, азота, неона, началась почти одновременно в США и в СССР. В Советском Союзе новое направление возникло в 1954 г. в Институте атомной энергии в Москве по инициативе и при поддержке выдающегося ученого-физика академика И. В. Курчатова. Для того чтобы вести работы на самом высоком уровне, в международном исследовательском центре социалистических стран в Дубне в 1961 г. был построен самый мощный ускоритель тяжелых ионов — специальный циклотрон. Вот уже пятнадцать лет ускоритель лабора-



тории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований является рекордной установкой по основным характеристикам. На этом циклотроне были получены самые интенсивные в мире пучки ускоренных тяжелых ионов. Мощности пучков кислорода, неона, аргона в сотни раз превосходили мощности, достигаемые на лучших американских ускорителях. Дубненский циклотрон не имеет себе равных и по «ассортименту» ускоряемых ионов.

Зал циклотрона — огромное помещение, почти не уступающее по размерам залу Большого театра. Ди-

Образное сравнение циклических ускорителей электронов (**вверху**) и протонов (**внизу**).

аметр полюсов магнита — 310 см, а его вес — 2200 т. Все остальные узлы и детали циклотрона под стать размерам магнита. По его многотонной обмотке протекает ток силой 2000 А. Мощность высокочастотного генератора, питающего циклотрон, — 500 кВт. Напряжение между высокочастотными электродами — дуантами — 260 кВ.

Такие уникальные характеристики объясняются особенностями ускоряемых частиц. Работу обычного циклотрона часто сравнивают с цирковой ареной, по которой бегают лошади, удерживаемая за узду человеком. Для ускорителя тяжелых ионов эта аналогия тоже подходит, только вместо лошади по арене должен бежать слон. Естественно, веревка (магнитное поле), удерживающая слона на арене, должна быть куда более крепкой, да и сами размеры арены теперь будут более внушительными. Для толстокожего слона требуется получше кнут — «подстегивающее» электрическое поле. Известно, что слоны панически боятся мышей. Примерно такие же отношения сложились у тя-

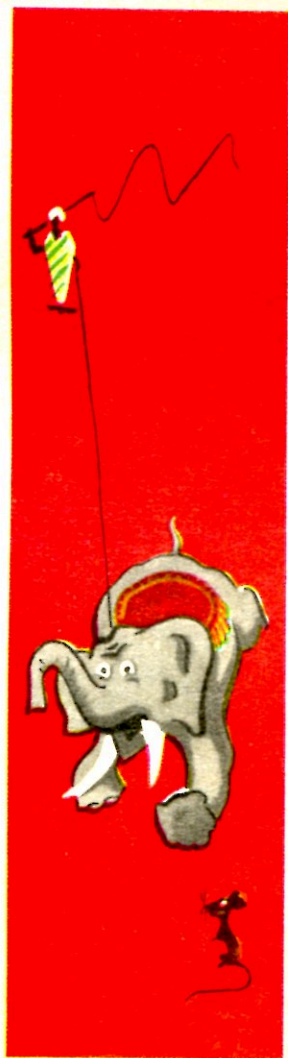


Так можно изобразить циклический ускоритель тяжелых ионов, если продолжить образное сравнение различных типов циклических ускорителей.

желых ионов и легких атомов остаточного газа, который всегда находится в ускорителе. Каждая встреча приводит к бегству «слона» с «арены». Для того чтобы таких встреч было как можно меньше, в ускорителе должен поддерживаться космический вакуум.

Мы уже говорили, что ядро-снаряд может слиться с ядром-мишенью, если его кинетическая энергия превысит величину кулоновского барьера. А она, по закону Кулона, пропорциональна зарядам ядер. Например, кулоновский барьер для α -частицы в 5 раз меньше барьера для неона ($Z = 10$). Следовательно, чем тяжелее ион, тем до больших энергий его нужно ускорить.

В циклотроне частицы ускоряются электрическим полем в промежутке между дуантами, многократно проходя через него и приобретая каждый раз небольшую порцию энергии. Электрическое поле не действует на нейтральные атомы элемента, ядро которого мы собираемся ускорить. Поэтому атомы нужно



лишить нескольких электронов, т. е. превратить их в ионы. Ионы тяжелее гелия и называются тяжелыми ионами. Очень важно, чтобы ионы были не одно- и не двух-, а многозарядными, потому что чем больше заряд иона, тем больший прирост энергии он получит в ускоряющем промежутке.

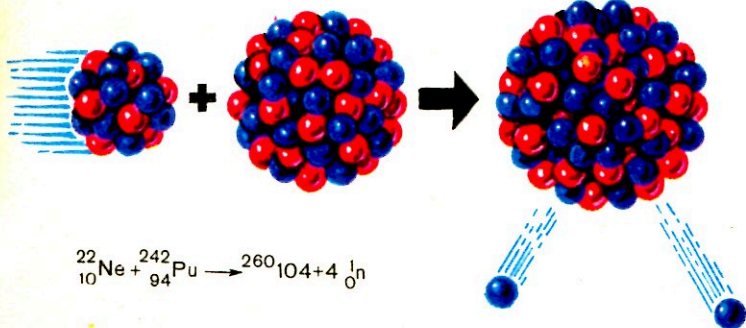
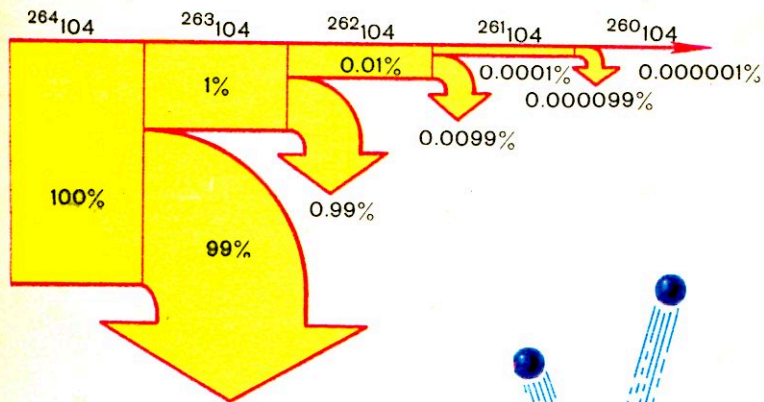
Сердце ускорителя — источник тяжелых ионов; он расположен в центре циклотрона. В трубке, в которой находятся нейтральные атомы, между электродами горит мощная электрическая дуга. Электроны сталкиваются с атомами и ионизируют их. Для того чтобы атом многократно ионизовался, нужны огромные потоки электронов в дуге, т. е. необходима ее огромная мощность. В дубненском источнике достигнут предел: в объеме карандаша выделяется мощность 50 кВт. Большой плазменный ураган не могут выдержать самые прочные материалы.

Из этого сложнейшего устройства ионы начинают свой путь к мишени. А путь этот неблизкий — несколько сотен метров. Всякое, даже незначительное, возмущение, встречающееся на пути, приводит к потере иона. Особенно опасны столкновения с атомами остаточного газа. Единственная защита от этого — глубокий вакуум, создаваемый на пути иона. Нелегко отработать все узлы циклотрона так, чтобы получить интенсивные пучки быстрых ионов, обрушивающихся на мишень. Работа ионного источника, высокочастотного генератора, вакуумных насосов, стабилизация тока магнита — все должно быть ювелирно согласовано, несмотря на гигантские размеры установки.

Ядро плюс ядро. Физики получили мощное оружие. Теперь нужно было научиться обращаться с ним. Что произойдет, когда летящее с огромной скоростью ядро столкнется с ядром-мишенью? Ученые приступили к изучению еще одной тайны природы. Процесс столкновения тяжелого иона с ядром оказался намного сложнее

Схематическое изображение процесса образования нового элемента при слиянии тяжелого иона с ядром-мишенью. Большая часть образовавшихся ядер «погибает» в результате деления. Доля разделившихся ядер на каждой стадии испускания нейтрона показана

стрелками. В конкуренции с делением выживает лишь ничтожная доля начального числа ядер нового элемента.



всех изучавшихся до этого ядерных реакций, в которых на ядро падает какая-нибудь простейшая частица. Это настолько многообразное явление, что его изучение продолжается до сих пор. Но, главное, оправдались надежды использовать тяжелые ионы для синтеза новых элементов. Значительная доля столкновений приводила к полному слиянию двух ядер. В образовавшейся ядерной капле число протонов равно сумме атомных номеров «снаряда» и «мишени». Далекий прыжок в клетку периодической таблицы с неизвестным элементом совершить можно!

Однако путь к тайнам природы никогда не был легким, и особенно при синтезе новых элементов. Шахматная задача и здесь неумолимо собирает свою дань. При слиянии кинетическая энергия «снаряда» переходит в тепловую энергию ядерной капли. Капля настолько сильно нагревается, что начинает «кипеть». «Охлаждение» происходит двумя способами: или «испарением» нейтронов, или поверхность ядра деформируется, начинает колебаться, и в результате ядро делится на два более легких осколка. Процесс деления в сто раз вероятнее процесса испускания нейтрона. Новый элемент образуется только в том случае, если горячая нуклонная капля последовательно испустит несколько нейтронов и не разделится при этом. А тепловая энергия оказывается такой большой, что для полного «охлаждения» ядро должно «испарить» ни много ни мало — четыре или пять нейтронов. Подставьте в шахматную задачу условие, когда при переходе из одной клетки в другую количество зерен уменьшается в сто раз, и вы получите, что образование атомного ядра нового элемента чрезвычайно редкое явление — в жестокой конкуренции с делением выживает лишь одно ядро из миллиарда образовавшихся.

Можно было начинать эксперименты по синтезу, но сложность их не шла ни в какое сравнение со всем, что было сделано до сих пор.

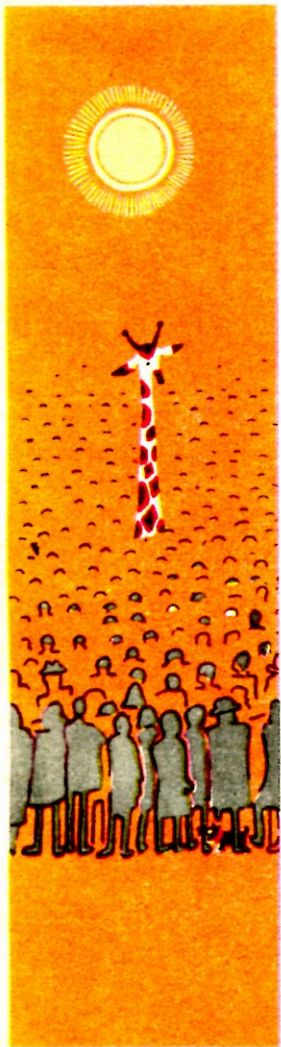
Путь к цели был открыт. Однако для ее достижения экспериментаторам пришлось проявить еще более высокое мастерство, чем открывателям предыдущего элемента — менделевия. Среди миллиардов радиоактивных ядер-осколков нужно разыскать считанные атомы самого далекого трансурана. А времени отпущено мало — ядра тяжелого элемента распадаются за доли секунды. Поиски еще осложняются тем, что параллельно основной ядерной реакции протекают побочные, в которых ядро-снаряд передает только часть нуклонов ядру-мишени. В побочных реакциях образуются трансурановые элементы с низшим атомным номером. Их ядерные излучения нелегко отличить от частиц, испускаемых неизвестными атомами.

Физики называют эту проблему проблемой фона. Для ее решения нужно найти такую характеристику искомого атома, которая бы резко отличала его от всех побочных.

Важность этого видна из примера. Попробуйте собрать вместе все население земного шара и найти среди огромной толпы за несколько секунд одного человека с родинкой на правой щеке. Задача чрезвычайно трудная, если не сказать невыполнимая, даже для Шерлока Холмса. Вместе с тем нет ничего проще заметить среди толпы одного-единственного жирафа.

В таких тяжелых условиях (малое число ядер и малое время жизни) первенство в обнаружении новых элементов перешло от химических методов к физическим. Ученые искали новые ядра с неизвестными радиоактивными свойствами. А поскольку основными видами распада столь тяжелых ядер являются α -распад и спонтанное деление, то все эксперименты и были нацелены на измерение характеристик таких распадов.

Пример правильного решения проблемы фона.



Вот когда сказали свое решающее слово рекордные параметры дубненской «царь-пушки»! Именно благодаря уникальным свойствам циклотрона физикам Дубны первым удалось синтезировать за десять лет четыре новых элемента — 102, 103, 104 и 105-й. История открытия каждого из этих элементов настолько увлекательна, что ей нужно было бы посвятить отдельный рассказ. Каждое из открытий потребовало создания оригинальной сложной установки, воплощающей новейшие физические идеи. Тем, кто захочет с этим поближе познакомиться, советуем прочесть книгу «Полоний—нильсборий — ...» «Популярной библиотеки химических элементов», выпущенную в свет издательством «Наука» в 1974 г. Здесь же мы подробно расскажем только об открытии элемента № 104. Во многих отношениях этот элемент оказался решающим, поворотным в истории синтеза трансуранов.

Синтез 104-го элемента был осуществлен в 1964 г. в реакции

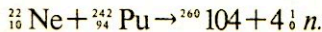
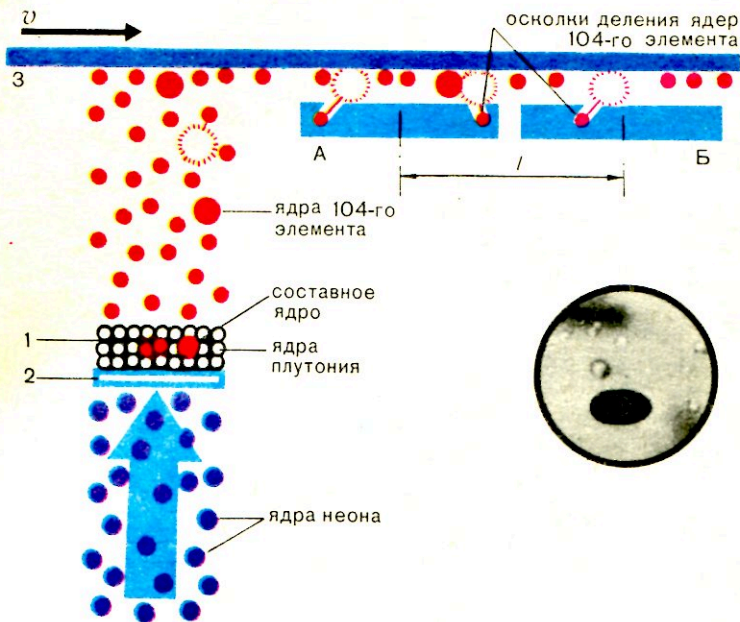


Схема эксперимента по получению элемента № 104. 1 — мишень, 2 — фольга-подложка, 3 — лента-конвейер, А и Б — детекторы осколков спонтанного деления.

Показана также фотография следа, оставленного в стекле осколком спонтанного деления ядра 104-го элемента.



Это был первый трансурановый элемент, обнаруженный по регистрации спонтанного деления его ядер. По сравнению с α -распадом спонтанное деление обладает рядом неоченимых преимуществ. Энергия и масса у ядер-осколков намного выше, чем у α -частиц, поэтому регистрация осколков производится с максимальной чувствительностью. Значительно легче в этом

случае избавиться от фона, потому что подавляющее большинство образующихся в реакции побочных продуктов испытывает α -распад. Именно поэтому регистрация спонтанного деления в настоящее время является основным способом обнаружения всех более тяжелых элементов.

На с. 41 изображена схема получения и регистрации ядер 104-го элемента. На мишень (1) падает пучок быстрых ядер неона. Пройдя алюминиевую фольгу-подложку (2), неон проникает в плутониевый слой. Там ядро-снаряд и ядро-мишень сливаются в составное ядро. Только одно из 10 млрд. составных ядер становится атомом нового элемента, остальные делятся на осколки. Импульс, внесенный неоном, выносит ядро нового элемента на движущуюся никелевую ленту — конвейер (3). Теперь ядра нового элемента движутся вместе с лентой. Ядро 104-го элемента должно делиться, но не мгновенно, а через некоторое время после своего рождения. За это время транспортер успевает перенести атомы к регистраторам (детекторам) осколков А и Б. Ядра нового элемента все время делятся на ленте. Поэтому мимо детектора Б лента всегда пронесет меньшее число новых ядер, чем мимо детектора А, и число разделившихся и зарегистрированных у детектора А ядер будет больше, чем у Б.

Допустим, детектором А зарегистрировано 40, а детектором Б — 20 осколков. Если скорость ленты v , а расстояние между детекторами l , то от А до Б ядра нового элемента транспортируются за время $t_0 = \frac{l}{v}$. Если детектором Б зарегистрировано вдвое меньше осколков, чем А, то число ядер нового элемента, пронесенных лентой мимо Б, также вдвое меньше. Значит, за время t_0 половина ядер разделилась, т. е. t_0 и равно периоду полураспада. Расстояние l и скорость v мы выбираем сами. Зная значения этих величин и показания детекторов, экспериментаторы вычисляют период полураспада нового элемента.



Г. Н. Флеров впервые вписывает в таблицу элементов название «курчатовий» на заседании Ученого совета Объединенного института ядерных исследований.

К детекторам, которые фиксируют радиоактивный распад, предъявляются очень жесткие требования. Нужно, чтобы они регистрировали только осколки деления, оставаясь абсолютно нечувствительными к другим частицам. Как ни странно, этим чудесным свойством обладают простые материалы — стекло, слюда, лавсан и некоторые другие. Осколки деления, влетая, например, в стекло, оставляют в нем узкие каналы. Диаметр следа осколка равен длине цепочки из нескольких десятков атомов. Такие маленькие следы невозможно рассмотреть даже в самый сильный оптический микроскоп. Их можно увидеть в электронный микроскоп, но в этом случае потребовались бы годы на подсчет следов-треков. Помогла химия. Стекло растворяется в плавиковой кислоте. Если стеклянную пластинку, обстрелянную осколками, поместить в раствор плавиковой кислоты, то в местах, куда попали осколки, стекло будет растворяться быстрее и там образуются лунки. Их размеры в сотни раз больше первоначального следа, оставленного осколком. Теперь лунки можно

наблюдать в микроскоп со слабым увеличением. Другие радиоактивные излучения наносят поверхности стекла незначительные повреждения и не просматриваются после травления.

И вот после нескольких лет напряженной работы в 1964 г. физики обнаружили следы долгожданного изотопа 104-го элемента с массой 260. Один акт спонтанного деления нового ядра регистрировался за 6 ч работы самого мощного в мире циклотрона.

Но получить новый элемент не самое трудное дело. Еще труднее доказать, что новое действительно получено. В десятках контрольных опытов, каждый из которых не легче основного, полученные результаты проверяются еще и еще раз, пока не будет достигнута полная ясность и надежность данных. Весь эксперимент длился больше 1000 ч. Всего было зарегистрировано около 150 ядер элемента № 104. Период полураспада изотопа $^{260}_{104}$ оказался равным всего $\frac{1}{10}$ доли секунды. Спустя несколько лет в той же реакции был обнаружен еще один более легкий изотоп $^{259}_{104}$, который образуется при испускании из составного ядра $^{264}_{104}$ пяти нейтронов. Период полураспада изотопа $^{259}_{104}$ равен 4,5 с.

По предложению авторов открытия 104-го элемента его назвали курчатовием, в честь выдающегося советского физика и организатора науки Игоря Васильевича Курчатова.

Сверхбыстрая химия. Взглянем на таблицу Менделеева. Последним из актиноидов должен быть элемент № 103. Действительно, вплоть до 101-го элемента химические свойства всех трансуранов оказались близкими. Современная химия создала новые материалы и соединения искусственных элементов, которые сейчас широко используются в ядерной промышленности и технике. Однако материалы и химические соединения каждого из актиноидов не обладают новыми оригинальными механическими, оптическими и электрическими

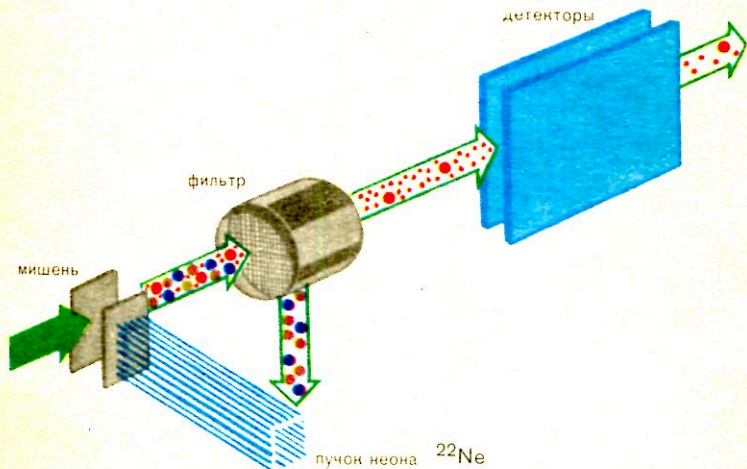
свойствами из-за химического подобия. Качественно новые химические свойства должны иметь лишь элементы с порядковым номером больше 103, а первым из них как раз и является курчатовий. Поэтому для химиков было очень важно дать ответ на один из ключевых вопросов современной химии — доказать, является курчатовий аналогом гафния или нет.

Как провести химический опыт со 104-м элементом, провести какую-то реакцию, получить соединение, если в распоряжении химиков несколько атомов, распадающихся за десятые доли секунды? У исследователей не только не было подходящих методов для решения такой сложной задачи. Даже применять основные понятия химии было незаконно, когда речь заходила о единичных атомах. Ведь химические свойства различных веществ всегда определялись как статистические свойства огромного коллектива, состоящего по крайней мере из миллиардов миллиардов атомов.

Новый чрезвычайно быстрый метод для определения химических свойств считанных атомов был разработан дубненскими химиками, которыми руководил молодой чехословацкий ученый, ныне член-корреспондент АН ЧССР И. Звара. Для этого потребовалось пересмотреть некоторые привычные, веками сложившиеся представления. Когда говорят о химике, возникает образ человека, работающего с ретортами, колбами, пробирками. И на самом деле, при получении предыдущих элементов химики работали с растворами соединений. Но ведь для простого перемешивания раствора нужна по крайней мере одна секунда. Поэтому не может быть и речи о проведении химического опыта за десятые доли секунды. Другое дело, если работать с газообразными веществами. Газы быстро смешиваются, легко и быстро транспортируются по трубам, химические реакции в газах могут идти с большой скоростью, а их продукты легко можно извлекать за доли секунды путем фильтрации.

Схема исследования химических свойств элемента № 104. Зеленой стрелкой показано направление движения газовой струи, состоящей из смеси азота и газообразного хлорида

гафния HfCl_4 . В ней, атомы курчатовия тормозятся, хлорируются и транспортируются к детекторам. Желтыми и синими точками показаны актиноиды, красными — атомы курчатовия.



Химикам уже давно было известно, что гафний образует летучие соединения, например четыреххлористый гафний HfCl_4 , а лантаноидные элементы летучих соединений не дают. Следовательно, экагафний должен быть более склонен к образованию летучих соединений, чем все известные до этого трансурановые элементы.

Эта склонность тесно связана с химической природой, с основными химическими свойствами элемента. У элементов III группы (лантаноиды и актиноиды) внешние валентные электроны расположены таким образом, что в образовавшейся молекуле какого-нибудь соединения все атомы лежат в одной плоскости. Поэтому при конденсации вещества выстраивается ион-

ная решетка и образуется нелетучее соединение. Гафний и курчатовий — элементы IV группы, и молекулы их соединений имеют уже объемное строение. Атом курчатовия как бы обволакивается сплошной оболочкой других атомов. В результате молекулы будут взаимодействовать между собой слабо, и образуется летучее соединение. Естественно, чем выше валентность, тем более плотно окружены в молекуле атомы нового элемента. Значит, соединения следующих новых элементов также должны быть летучими, поэтому новый химический метод может иметь большие перспективы и в будущем.

В 1965 г. начались опыты на установке, работающей на новых принципах газовой радиохимии. На с. 46 показана схема исследования химических свойств курчатовия. Атомы отдачи — продукты ядерной реакции — вылетают из мишени в струю азота, тормозятся в ней, а затем хлорируются. Наряду с хлоридами нового элемента в газовом потоке будут присутствовать и хлориды актиноидных элементов, которые образуются в результате побочных ядерных реакций. Поэтому на пути потока ставится фильтр, который легко задерживает все нелетучие соединения актиноидов. Если бы курчатовий принадлежал актиноидному ряду, то и он был бы задержан фильтром. Однако исследования показали, что хлориды курчатовия легко проходят сквозь фильтр и осаждаются как раз в том месте, где в предыдущих опытах осаждались молекулы HfCl_4 .

Как и в физических опытах, регистрация курчатовия — очень редкое событие. За несколько часов работы ускорителя фиксируется один акт распада. Установка работает как химическая драга, которая все время прогоняет пустую породу, отделяя редкие золотые зерна.

Позднее на этой же установке было показано, что открытые физиками 102-й и 103-й элементы принадлежат актиноидам, а 105-й является аналогом тантала.

Это был выдающийся успех химии отдельных короткоживущих атомов. Химики не только подтвердили результаты предыдущих физических опытов. Доказательство того, что 104-й и 105-й элементы являются аналогами гафния и тантала, стало новым подтверждением предсказательной мощи периодической системы Менделеева. Теперь можно было говорить о том, что мы достаточно надежно знаем химические свойства ближайших еще не открытых элементов.

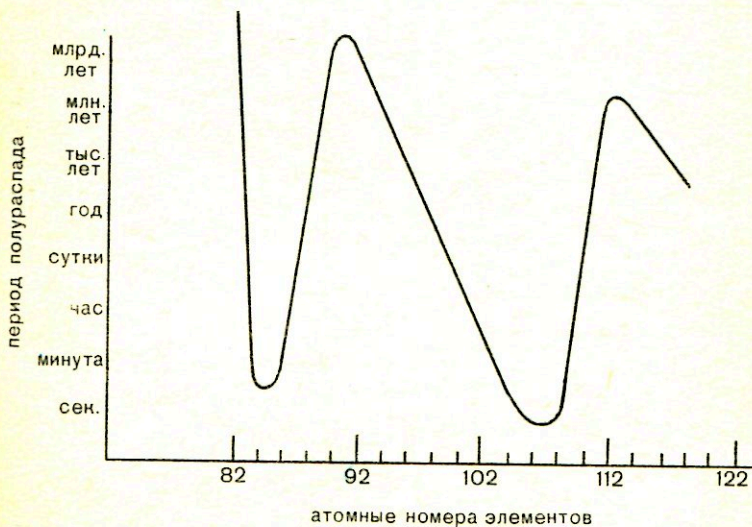
Что такое сверхэлемент?

Скептически настроенный читатель может спросить: «Конечно, изучить свойства 104-го элемента принципиально важно. Но кому нужен такой элемент, который распадается за десятую долю секунды? Да еще и неизвестно, как его получить в таких количествах, чтобы можно было подробно исследовать его характеристики». Действительно, первое время казалось, что исследования трансурановых элементов вошли в спокойное, но мелкое русло. Судите сами. В 50-е годы открытия новых элементов нарастали бурным потоком — что ни год, то новый элемент. А тут почти за 20 лет синтезировано всего 4 элемента.

Но научные проблемы могут быть очень живучи. Казалось бы, исследования проведены во всевозможных аспектах и осталось всего несколько шагов до финала, как неожиданно открываются новые глубины.

Загадка курчатовия. Одна десятая секунды. Много это или мало? Так вопрос ставить нельзя, нужно добавить сюда вторую часть: по сравнению с чем? Так вот, экспериментальное значение периода полураспада курчатовия-260 оказалось в десятки тысяч раз больше теоретического, полученного в предположении, что при переходе к ядрам со 104 протонами ничего нового не

Зависимость периода
 полураспада наиболее
 стабильных изотопов от
 атомного номера элемента.



происходит и времена жизни ядер уменьшаются так же, как и у предыдущих элементов. Ядра курчатовия были более устойчивыми, чем это ожидалось на основании теоретических представлений, существовавших в начале 60-х годов. Значит ли это, что начиная с элемента № 104 наблюдается замедление катастрофического уменьшения времен жизни ядер с увеличением в них числа протонов? Что будет происходить в области более тяжелых элементов?

Давайте внимательно посмотрим на таблицу Менделеева. У таллия (элемент № 81) и следующих за ним свинца и висмута есть изотопы с таким большим временем распада, что его практически невозможно измерить, так медленно протекает распад. Но вот за вис-

мутом идет полоний, астат, радон, франций... Все ядра элементов от полония до актиния превращаются в дочерние за очень короткое время. Зато периоды полураспада наиболее стабильных изотопов урана и тория, элементов с более высокими атомными номерами, равны 4,5 и 14 млрд. лет и сравнимы с возрастом нашей планеты. Нептуний, плутоний, америций, кюрий менее радиоактивны, чем полоний или радий, хотя их атомные номера значительно выше.

Таким образом, время жизни элементов уменьшается нерегулярно с ростом атомного номера. После висмута — спад, затем подъем в области торий — уран и новый спад за ураном. Этот спад продолжается до 102-го элемента и замедляется в районе курчатовия. Существует ли новый подъем времени жизни?

Магические ядра. В начале 30-х годов XX в., когда ядерная физика делала первые шаги, была замечена странная закономерность: атомные ядра, содержащие определенные числа протонов или нейтронов (2, 8, 20, 50, 82, 126), отличались от соседних повышенной стабильностью. Это подтверждалось, в частности, и большей их распространенностью в природе. Так, например, кальций, олово, свинец встречаются в значительно больших количествах и имеют большее число стабильных изотопов, чем их ближайшие соседи по таблице Менделеева. В те времена физики не понимали, почему наблюдается такая зависимость, и в шутку называли эти числа магическими. Позднее и атомные ядра с магическим числом протонов или нейтронов стали называться так же. Только в 1948 г. Мария Гепперт-Майер и Ганс Д. Иенсен объяснили существование магических чисел. Как и атомные электроны, нуклоны в ядрах образуют оболочки. По мере увеличения частиц в ядре происходит последовательное заполнение оболочек. Подобно тому как в периодической системе наиболее стабильны инертные газы, наиболее

стабильны те ядра, у которых полностью застроены нейтронные и протонные оболочки. А таким «замкнутым» оболочкам как раз и соответствуют магические числа нейтронов или протонов: 2, 8, 20, 50, 82, 126. Таким образом, периодичность свойств присуща не только атомам, но и ядрам. Только создать периодическую систему ядер несравненно сложнее: ведь нужно систематизировать свойства нескольких тысяч изотопов! Пока еще не существует такой стройной периодической системы ядер, которая бы точно описывала и предсказывала свойства всех изотопов, как это делает периодическая система химических элементов.

Координаты острова Стабильности. Перед физиками-теоретиками встала очень трудная задача. Нужно было не только предсказать значения следующих магических чисел, но и рассчитать свойства магических ядер. Но ведь природа сил, «цементирующих» воедино нейтроны и протоны в ядре, до конца еще не разгадана! И даже если бы все было известно о ядерных силах, решение для системы, состоящей из нескольких сотен частиц, найти совсем не просто. Пример тому — электронные оболочки тяжелых атомов. Хотя известны все силы, действующие на атомные электроны, получаются настолько сложные уравнения, что приходится ограничиваться приближенным решением, не дающим детального описания движения этих электронов. Только в последние годы были разработаны методы решения задачи трех тел, а в нашем случае число частиц в сто раз больше!

Пришлось идти не по пути строгого решения задачи, а тем же путем, которым сто лет назад шел Менделеев. Тогда даже не было известно, как устроен атом. Однако, внимательно рассмотрев нерегулярные на первый взгляд свойства всех известных элементов, Менделеев извлек общие правила, которые наглядно проявились в периодической таблице. И теперь помог анализ харак-

теристик изученных ядер, особенно трансурановых. Благо, к тому времени усилиями физиков многих стран только в трансурановой области было получено свыше ста изотопов. Ученые внимательно изучили, как заполняются ядерные оболочки и как это отражается на разнообразных свойствах ядер. Выявились общие закономерности. В результате в 1966 г. советским теоретиком В. М. Струтинским был предложен способ расчета ядерных оболочек, который неплохо воспроизвел периодические изменения характеристик известных ядер. А дальше оставалось распространить найденные закономерности на неизученную область.

Проделанные физиками разных стран мира в последующее десятилетие расчеты на самых мощных электронных вычислительных машинах определили координаты нового острова Стабильности и составили его карту. Оказалось, что следующими магическими числами являются 114 для протонов и 184 для нейтронов. Изотопы вблизи следующего за свинцом-208 дважды магического ядра ${}_{114}^{298}\text{X}$ должны обладать повышенной стабильностью — быть «долгожителями». Именно здесь и можно ожидать нового подъема времен жизни далеких элементов.

Гипотетические элементы с числом протонов, близким к 114, и числом нейтронов около 184 называли сверхэлементами, а область значений атомных номеров и массовых чисел, им соответствующую, — новой областью относительной стабильности. Почему относительной? Потому что сверхъядра в общем-то нестабильны.

Основные типы распада, которые определяют время жизни сверхъядер, — спонтанное деление и α -распад. Остров Стабильности разделен ими на две части. Северо-западная часть — владения α -распада, а юго-восточная принадлежит спонтанному делению. Дважды магическое ядро ${}_{114}^{298}\text{X}$ является самым устойчивым по отношению к спонтанному делению. Но время жизни по отношению к α -распаду у всех ядер сильно уменьша-

ется с ростом порядкового номера. Конкуренция между двумя «владыками» острова — α -распадом и спонтанным делением — приводит к тому, что самым долгоживущим «подданным» является изотоп $^{294}110$. Теоретики предсказывают для него время жизни сто миллионов и даже миллиард лет.

Склоны острова почти отвесные. Если изменить число нейтронов или протонов у самого долгоживущего ядра $^{294}110$ на 2—3 единицы, т. е. всего на 1%, то время жизни должно уменьшиться в 10 млн. раз! Этот эффект наблюдается и у хорошо известных ядер. Например, очень стабильно дважды магическое ядро свинца, содержащее 82 протона и 126 нейтронов. Но вот число нейтронов возросло на единицу, и новый изотоп свинца со 127 нейтронами будет распадаться всего за 3,3 часа. А ведь ядра соседнего свинца-208 настолько стабильны, что еще никому не удавалось наблюдать их распад. Стоило отойти только на один шаг от нейтронного магического числа 126, как ядро потеряло свою устойчивость.

И все-таки «площадь» острова довольно велика. Если рассматривать ядра с временами жизни больше 1 мин, то область сверхъядер будет лежать в квадрате, ограниченном координатами по числу протонов между 106 и 116, а по числу нейтронов — между 174 и 192.

Что делать? Прежде чем отправиться в далекий и трудный путь к острову Стабильности, следует выяснить, насколько точно мы знаем его координаты. Все без исключения расчеты, имеющиеся на сегодняшний день, дают принципиально один и тот же результат: остров относительной Стабильности существует! Это является большим достижением теории, однако сейчас она еще не может дать абсолютно точный ответ на вопрос, какое из сверхъядер будет самым стабильным и каково будет его время жизни. Когда мы писали, что ядро $^{294}110$ имеет период полураспада 100 млн. лет, мы имели в виду наиболее вероятное значение времени

жизни. На самом деле этот период может быть и в миллион раз больше, и в миллион раз меньше, а самым долгоживущим может оказаться одно из ядер 108-го — 126-го элементов. Такой неопределенности есть простое объяснение. Пока нет законченной, всеобъемлющей теории ядерных явлений, каждый шаг от области известных ядер несет в себе возможность ошибки, возрастающей при удалении в неизвестную область.

В такой ситуации решающее слово оставалось за экспериментаторами. В полном соответствии со старым былинным обычаем перед ними лежало три пути. Налево лежал поиск сверхэлементов в природе — в Галактике, в Солнечной системе, на Земле. Прямой путь был продолжением старого, традиционного: последовательно, не считаясь со всевозрастающими трудностями, синтезировать все более и более тяжелые элементы. Направо лежал прыжок через «запретную» зону атомных номеров 102—107. Если первый и третий методы можно сравнить с покорением горной вершины десантом, высаженным с вертолета, то второй метод будет соответствовать восхождению альпинистов, когда закрепляется каждый метр пройденного пути.

В Дубне решили идти сразу по трем дорогам.

Поиски «долгожителей»

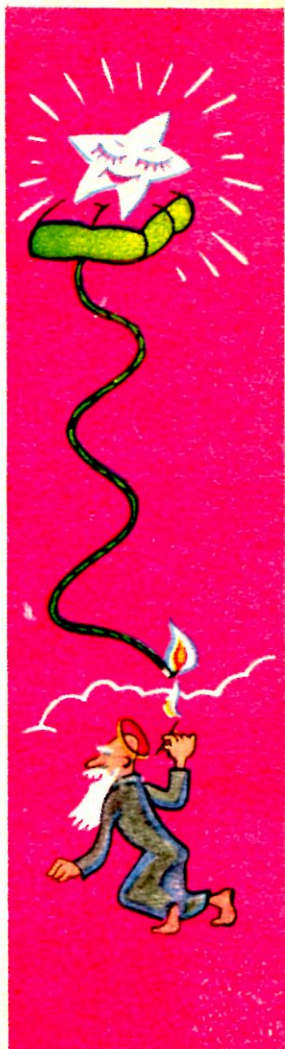
Первые обнадеживающие результаты были получены от исследователей, ведущих поиск сверхэлементов в природе. На первых порах здесь задача была проще — не нужно было искусственно получать сверхтяжелые ядра. Поэтому пока на других направлениях физики готовились к штурму и подтягивали «тяжелую артиллерию», искатели попытались уйти вперед.

Итак, теория не запрещает возможности очень большого времени жизни сверхэлементов, сравнимого даже с возрастом Солнечной системы. Следовательно, их еще

можно обнаружить в естественном виде в природе!

Космическая охота. Процессы, подобные синтезу элементов Солнечной системы, непрерывно протекают в далеких звездных мирах. Астрономам удалось обнаружить несколько типов «звездных фабрик», в которых могут получаться сверхэлементы. При этом основным «технологическим» процессом производства является тот же процесс быстрого захвата нейтронов с последующей цепочкой β -распадов, с помощью которого в термоядерном взрыве были синтезированы элементы № 99 и 100. Только в космических объектах условия сильно отличаются от земных взрывов: весь процесс длится не микросекунды, а десятки секунд, дней или даже лет и нейтронные потоки интенсивнее. Путь ядер к острову Стабильности — зигзагообразная кривая, лежащая вдоль нейтроноизбыточного побережья материка. При таких необычных условиях снимаются ограничения, препятствовавшие проникновению в область трансфермиевых элементов.

Один из основных типов «звездных фабрик» — взрыв сверхновой звезды. К счастью, в



нашей Галактике такое событие происходит довольно редко — сверхновая звезда вспыхивает примерно раз в несколько столетий. При этом выделяется столько энергии, что случись такой взрыв в одной из ближайших к Солнечной системе звезд, это привело бы к печальным последствиям для человечества.

Сверхэлементы могут образоваться и в процессах, проходящих в нейтронных звездах — пульсарах. В этих звездах сила тяготения сжимает вещество до такой степени, что атомные оболочки «расплющиваются» и плотность вещества достигает значения ядерной плотности. Образуется необычная кристаллическая решетка, в узлах которой находятся ядра, погруженные в нейтронный и электронный газы. Значения заряда и массы ядер могут быть самыми экзотическими, например $Z = 445$ и $A = 7840$. Во время «звездотрясений», когда разрушается внешняя оболочка звезды, такие ядра, или сгустки нейтронного вещества, выбрасываются в межзвездную среду. Здесь огромное внешнее давление, благодаря которому существовали такие необычные ядра, отсутствует, поэтому они начинают испускать «лишние» нейтроны, делиться, испытывать β -распад. В итоге могут образоваться сверхэлементы.

Выброшенные в межзвездную среду «бездомные» сверхэлементы, путешествуя в космосе, постепенно ускоряются электрическими и магнитными полями до световых скоростей и входят в состав космических лучей, которые непрерывно облучают нашу Землю. «Горячие» зоны Вселенной, в которых расположены «звездные фабрики», удалены от Солнечной системы на расстояния, свыше 10^5 световых лет. Поэтому, если время жизни сверхэлемента больше 100 000 лет, его можно обнаружить в космических лучах.

Чтобы подтвердить это предположение опытным путем, английский ученый П. Фаулер (внук Э. Резерфорда) предложил облучать космическими частицами большие поверхности, покрытые фотоэмульсией, кото-

рая способна регистрировать атомные ядра. Но вся беда в том, что космические ядра до поверхности Земли не долетают, а задерживаются уже в верхних слоях атмосферы. Поэтому большие фотопластинки площадью около 10 м^2 с помощью стратостата, наполненного гелием, приходилось поднимать на высоту 40 км. Объем стратостата достигал $600\,000 \text{ м}^3$. Чем больше заряд ядра — атомный номер элемента, тем шире оставленный им в фотоэмульсии след. Довольно часто сотрудники Фаулера обнаруживали сравнительно тонкие следы. Это были треки 26-го элемента — железа. Иногда встречались и широкие следы. Их изучение приводило к выводу — это следы ядер элементов с номерами 80—90. И совсем редко встречались очень широкие треки, которые могли принадлежать атомным ядрам с порядковым номером около 110!

Для увеличения числа обнаруженных сверхъядер нужно было намного увеличить время экспозиции. Один полет стратостата длится несколько десятков часов. Семь лет (с 1967 по 1973 г.) проводились пуски шаров-зондов, но за это время обнаружили всего два следа, которые могли оставить сверхэлементы.



Ученые обратились за помощью к астронавтам. Недавно был проведен эксперимент по регистрации космических сверхъядер на орбитальной станции «Скай-лэб». Время полета составляло несколько месяцев, что в три раза превышало суммарную экспозицию всех предыдущих опытов на стратостатах. Согласно предварительным данным, пока в этом эксперименте не удалось обнаружить следов сверхъядер.

Как же все-таки провести чувствительный эксперимент, если даже последние достижения космической техники не помогают? Выход из создавшегося положения предложила сама природа. К счастью, она позаботилась о будущих исследователях, когда создавала некоторые небесные тела Солнечной системы. Оказалось, что в метеоритах встречаются включения некоторых минералов — полевых шпатов, пироксенов, оливинов, которые являются природными детекторами тяжелых ядер. Работают они по такому же принципу, что и стеклянные детекторы, которые регистрировали осколки спонтанного деления в опытах по синтезу 104-го элемента. Тяжелое космическое ядро, тормозясь в минерале, оставляет за собой канал разрушений в кристалле. После химического травления его можно увидеть в обычный микроскоп. Чем больше заряд ядра, тем больше длина следа. Например, длина следа, оставленного ядром 114-го элемента, должна в полтора раза превышать длину следа от ядра урана.

Метеорит с первых дней рождения облучается космическими лучами и в течение всей своей жизни аккумулирует сведения о космических сверхъядрах. А космический возраст метеоритов составляет десятки и сотни миллионов лет! Поэтому исследование 1 куб. см небесных минералов эквивалентно проведению эксперимента с 1—2 т фотоэмульсии, находящейся в космическом пространстве в течение года.

Но природа устроена так, что выигрыш в каком-либо качестве, как правило, сопровождается появлением

трудностей в других отношениях. Известно, что падение метеоритов на Землю происходит нечасто. Из найденных метеоритов нужно отобрать такой, в котором находились бы крупинки нужных нам минералов. Поскольку «шрамы» от космических лучей при нагревании кристалла «затягиваются», нужно отобрать кристаллические зерна из необгоревшей при входе в атмосферу части метеорита. Дальше отбираются лишь те зерна, которые находятся на глубине 5—6 см от поверхности. До более глубоких кристаллов сверхъядра не могут долететь, потому что они поглощаются в веществе метеорита. Кристаллы же с меньшей глубины многократно нагреваются солнечными лучами, что также ведет к «затягиванию» следов. Не удивительно, что в результате у исследователей остается всего несколько метеоритов, подходящих для работы.

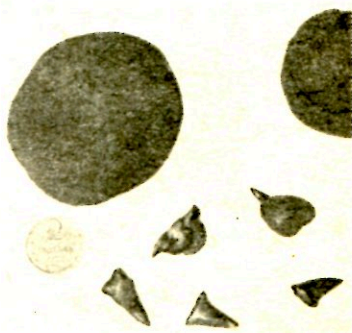
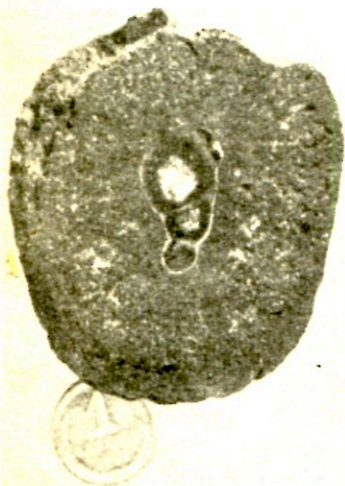
Помогли ученым астронавты, доставившие с поверхности Луны нужные минералы. Основные трудности, связанные с нагреванием естественных детекторов при входе в атмосферу, отпали.

За последние годы ученые разных стран обнаружили в метеоритах и в образцах лунной породы несколько очень длинных треков, которые, возможно, и есть следы сверхэлементов.

Галактические «пришельцы». Вернемся из космоса на Землю и посмотрим, что происходит с космическими ядрами, которые стали «пленниками» земной атмосферы. Космические пришельцы тормозятся на большой высоте, в верхних слоях стратосферы, главным образом вблизи магнитных полюсов. Годами они путешествуют в атмосферных потоках, постепенно опускаются в область облаков и с осадками выпадают на поверхность Земли. Но опыты со стратостатами и космическими станциями показали, что если сверхъядра и существуют, то их поток исключительно мал. За 1 год на 1 м² поверхности Земли падает не больше одного ядра. На



Слева — разрез конкреции.
В центре — ядро
конкреции.
Ядра конкреций — зубы
древних акул.

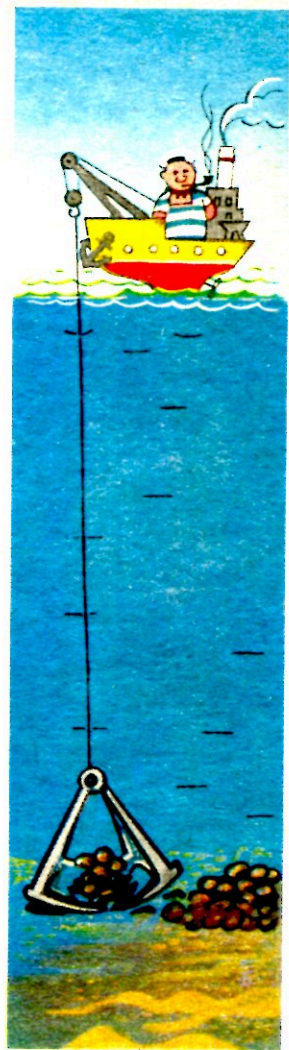


весь земной шар выпадает менее одного миллиграмма в год. Попробуйте найти эти доли миллиграмма среди миллиардов тонн обычных элементов!

Хорошо, если бы в течение миллионов лет сверхъядра неподвижно лежали тончайшим слоем на поверхности. Тогда, собрав небольшую массу вещества, но со

значительной площади, можно было бы получить высокую концентрацию космических ядер. Но дожди, ветры, Солнце непрерывно перемешивают поверхностный слой Земли. Найти спокойные области на Земле не так уж трудно. Это дно озер, морей, океанов. Но необходимо выполнить еще одно условие — количество твердых осадков, связанных с эрозией поверхности Земли и с деятельностью человека, должно быть минимальным. А вот таких мест в наше время осталось мало. Одно из них — арктические и антарктические области. В 1971 г. из Дубны на остров Хейса архипелага Франца-Иосифа была снаряжена экспедиция, которая собрала 10 т ила со дна озера Космическое.

Но наиболее подходящим для этих целей оказалось дно Мирового океана. Там на больших глубинах царит покой. Толщина донных отложений из верхних слоев океана невелика. Ровное океаническое дно усеяно круглыми, напоминающими выкопанный из влажной земли картофель, образованиями. Это конкреции. Вокруг центра образования (акульих зубов, частиц грунта) медленно нарастают осадки. За несколько тысяч лет конкреции «подрастают» на 1 мм, а



средний их возраст колеблется от 1 до 10 млн. лет. Именно в этих удивительных образованиях предложил искать сверхэлементы академик А. П. Виноградов.

Самым ценным качеством конкреций является то, что, по существу, они представляют собой «обогачительные фабрики». В течение долгих лет существования конкреции как бы впитывают в себя из морской воды соединения, содержащие атомы металлов. В основном конкреции состоят из соединений железа и марганца, почему их и называли железомарганцевыми. Но и таких элементов, как золото, ртуть, висмут, там в десятки миллионов раз больше, чем в остальной породе океанического дна. Естественно, что и сверхэлементы — аналоги этих металлов в таблице Менделеева — также должны накапливаться в океанической «картошке». Предполагают, что на тонну конкреций приходится гораздо больше атомов сверхэлементов, чем в среднем на такую же массу обычного грунта, поднятого со дна океанических впадин.

Во время 48-го рейса научно-исследовательского судна АН СССР «Витязь» в 1970 г. со дна Тихого океана в районе Новозеландской банки было поднято около 9 т железомарганцевых конкреций. Но прежде чем рассказать о результатах поисков сверхэлементов в арктических илах и в конкрециях, мы совершим еще несколько путешествий не за галактическими «пришельцами», а за «старожилами» Солнечной системы.

Земные «долгожители». Если существует какой-либо изотоп сверхэлемента с временем жизни больше 100 млн. лет, то он должен сохраниться в Солнечной системе, и в частности на Земле. Определим долю первозданного элемента, оставшуюся в условном «самородке» массой 1 кг, состоявшем 5 млрд. лет назад из чистого изотопа 110-го элемента, предполагая, что период полураспада этого сверхэлемента равен 200 млн. лет. Вспомним еще раз шахматную задачу и

проделаем точно такой же расчет, как на с. 15, только теперь наш самородок будет лежать на 25-й клетке доски. В результате получим, что до нашего времени доживет только одна десятая миллиграмма сверхэлемента.

Значит, нужно искать места с повышенным содержанием сверхэлементов. И снова путь исследователям указывает периодическая система Менделеева. Вспомним, открытие в Дубне 104-го элемента подтвердило, что курчатовий является аналогом гафния. После этого химические свойства сверхэлементов можно было довольно точно предсказать. Так, у 108-го элемента химические свойства должны быть близкими к свойствам осмия, у 110-го — к свойствам платины, а 114-й должен быть аналогом свинца. Поэтому весьма вероятно, что в процессе формирования земной коры или метеоритов атомы «экаплатины» должны сопутствовать атомам платины, а атомы «экасвинца» — свинцу.

Есть один очень древний тип метеоритов — так называемые углистые хондриты. Их состав наиболее близок к первичному веществу туманности, из которого образовались планеты. В них-то и обнаружена высокая концентрация тяжелых металлов: ртути, таллия, свинца, висмута... А содержание самого тяжелого стабильного изотопа ксенона-136 в углистых хондритах в сотни раз больше нормальной концентрации этого изотопа в других телах Солнечной системы. А именно ядра ксенона-136 должны быть осколками спонтанного деления сверхъядер! Итак, следующим классом объектов, изучением которых занялись физики, стали углистые хондриты. Из метеоритной коллекции Комитета по метеоритам Академии наук СССР в Дубну передали образцы метеоритов «Саратов», «Ефремовка» и других, а музей естественной истории США прислал 20 кг метеорита «Алленде».

На Земле претендентов было еще больше. Прежде всего нужно было исследовать руды и минералы, которые содержат осмий, платину, золото, свинец... Одно

только перечисление месторождений свинцовых руд, исследованных в Дубне, дает представление о размахе поисков: Карелия, Кольский полуостров, Закарпатье, Казахстан, Восточное Забайкалье, Дальний Восток, ЧССР, Швеция.

В коллекции ученых есть и пробы, взятые из очень глубоких слоев, прилегающих к мантии Земли. Прежде всего это продукты вулканической деятельности. Но особенно перспективны исследования геотермальных вод в районах глубинных разломов земной коры. Такие разломы могут доходить до верхних слоев мантии Земли. Глубинные воды проникают по разлому к горячим участкам мантии, нагреваются и выходят на поверхность в виде горячих источников или через скважины.

Тяжелые элементы (осмий, ртуть, свинец...) образуют сильно летучие соединения. Еще более летучими должны быть и соединения их сверхтяжелых аналогов. Поэтому в зоне контакта вод с мантией происходит возгон и растворение солей тяжелых элементов и сверхэлементов. Геотермальные воды — это готовый химический раствор, содержащий огромное количество солей (300 г на 1 л раствора). Изучение химического состава показало, что воды особенно богаты таллием и свинцом. Естественно, в местах выхода геотермальных вод на поверхность происходит осаждение растворенных соединений.

В Советском Союзе такие источники обнаружены в районе Южного Каспия, в пустыне полуострова Челекен. В 1970 г. экспедиция дубненских ученых собрала металлический свинец, осаждавшийся на железных стенках труб челекенских скважин. В 1971 г. через специальные фильтры из ионообменных смол, которые поглощали соединения тяжелых металлов, было пропущено 2000 куб. м воды из скважины. Затем 150 кг смолы было направлено в Дубну для дальнейших исследований.



Скважина в пустыне полуострова Челекен, из которой выкачивают геотермальную воду.

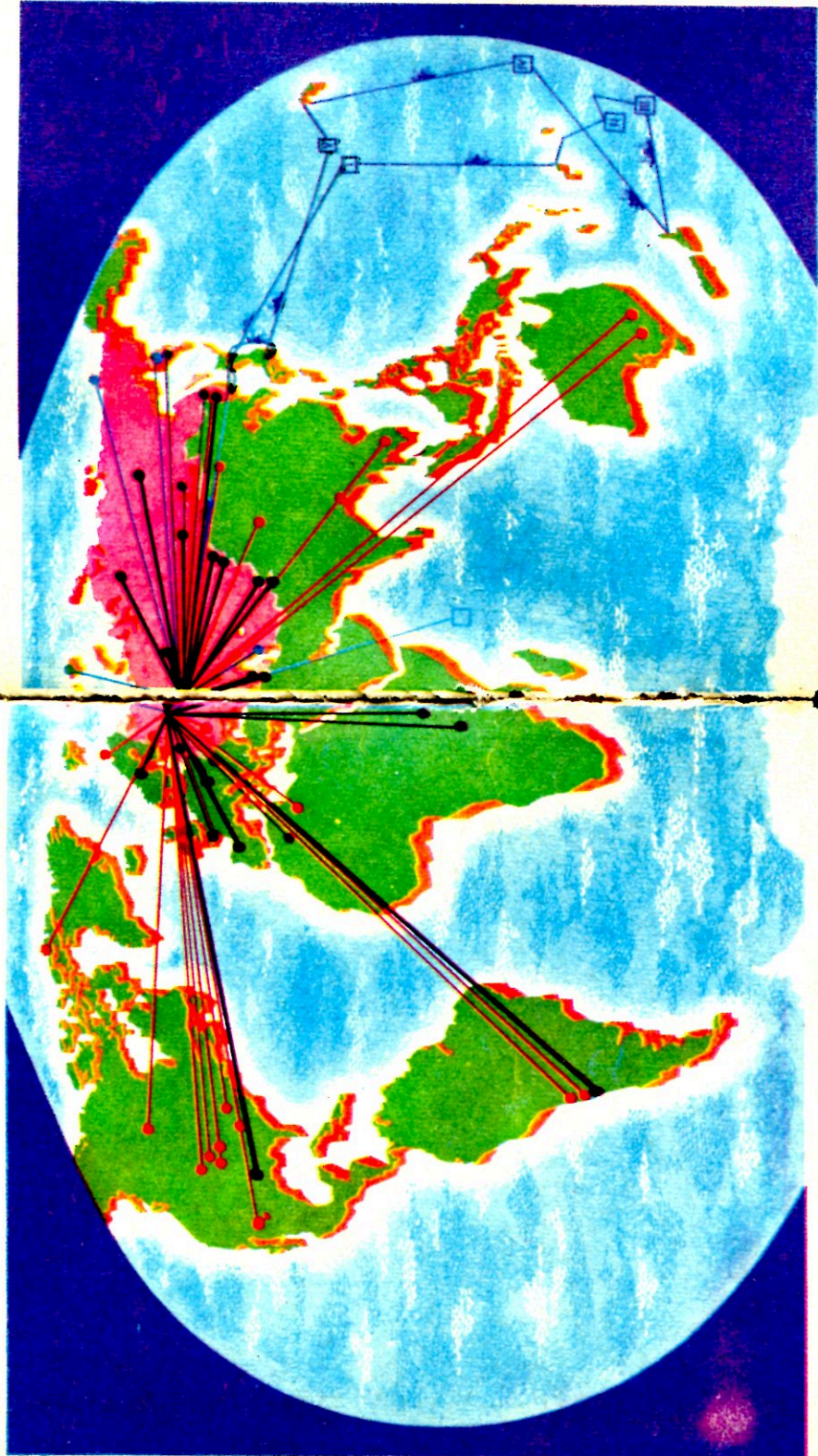
Таинственные следы. Ученым предстояло исследовать сотни образцов, доставленных из космоса и с поверхности Луны, с ледников Арктики и из пустынь Средней Азии, из кратеров вулканов и со дна Тихого океана... Возможно, что в тоннах исследуемого вещества «маскировались» доли микрограмма сверхэлементов. Можно ли обнаружить такие концентрации современными методами анализа? «Можно! — ответили физики. — Но для этого нужно повысить их чувствительность в миллионы раз». В технике обычно улучшение параметров работающего устройства даже в несколько раз — серьезная задача. Экспериментаторам нужно было создать новые уникальные установки для анализа состава вещества с рекордной чувствительностью.

Принцип работы этих установок основан на регистрации спонтанного деления сверхъядра. Этот метод, впервые примененный физиками для обнаружения ядер курчатовия, в поисках сверхэлементов стал основным. Прежде всего, как предсказывают теоретики, последним звеном в цепочке радиоактивных превращений любого сверхъядра должно быть спонтанное деление. Далее, в природе имеется сколько угодно естественных α -излучателей, а спонтанно делятся ядра только одного природного элемента — урана. Концентрацию урана в исследуемом образце всегда можно независи-

Карта мира, на которой отмечены места поисков сверхэлементов. Красными кружками отмечены места падений метеоритов, образцы которых исследовались в Дубне. Черными кружками

отмечены места, из которых брались образцы руд, минералов, вулканического пепла и лавы. Синие кружки указывают места извлечения геотермальных вод и донного ила, синие

квадратики — места извлечения железомарганцевых конкреций. Ломаной кривой показан маршрут 48-го рейса научно-исследовательского судна АН СССР «Витязь».



мым образом определить. И наконец, характеристики спонтанного деления урана должны сильно отличаться от деления сверхъядра. Таким образом, на присутствие в образце сверхэлемента должны указывать или избыток актов спонтанного деления над урановым фоном, или обнаружение необычного спонтанного деления.

Чувствительность установок, работающих в Дубне, поистине фантастическая: они могут обнаружить один атом сверхэлемента, если он замаскирован среди 10^{16} атомов других веществ. Для сравнения напомним, что в урановой смолке, с которой экспериментировали супруги Кюри, один атом радия приходился на миллион посторонних. При такой чувствительности помехой служат даже космические лучи, проходящие сквозь атмосферу. Быстрая космическая частица, столкнувшись с тяжелым ядром, например, свинца или висмута, может развалить его на две части, имитируя тем самым событие спонтанного деления сверхъядра. Поэтому все измерения проводятся на большой глубине в шахте, куда не могут проникнуть космические лучи.

Ученые с нетерпением и надеждой следили за результатами исследований отобранных образцов. Временами казалось, что исследователи очень близки к достижению цели, но в действительности выяснялось, что вместо «земного долгожителя» или «пришельца из космоса» детектируется «замаскировавшийся землянин». Сейчас можно сказать, что в некоторых образцах (в метеоритах, железомарганцевых конкрециях, свинцовых рудах, геотермальных водах), возможно, наблюдаются очень слабые следы сверхэлементов. Столь малые концентрации находятся на пределе возможностей даже уникальных по своей чувствительности установок. Поэтому в перспективных образцах нужно провести химическое обогащение, которое привело бы к увеличению концентрации сверхэлементов. Но первые опыты по обогащению, основанные на подобию химических свойств сверхэлементов и их аналогов по таблице

Менделеева, дали отрицательный результат. Правы ли «машинные химики», которые путем расчета на ЭВМ электронных оболочек атомов сверхэлементов предсказывают совершенно неожиданные их химические свойства? Поиски продолжаются...

Пока центр тяжести проблемы существования острова Стабильности переместился на другие направления. Если представители нового острова Стабильности и содержатся в земном и космическом веществах, то их открытие скорее всего последует после изучения химических свойств искусственных атомов. Здесь имеется простая аналогия с тем, что субмикроскопические количества элемента № 94 были обнаружены в урановых рудах лишь после того, как стали хорошо известны химические свойства синтетического плутония.

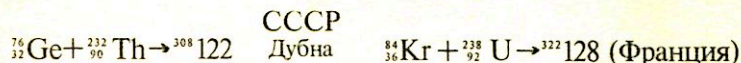
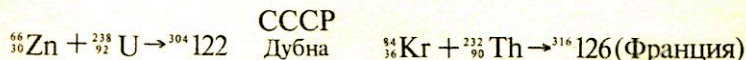
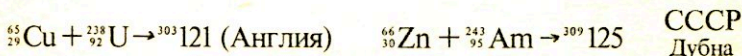
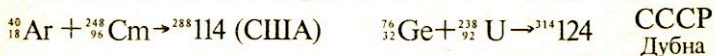
Отмель у острова Стабильности

В это время на других путях к острову Стабильности шла напряженная работа. И прыжок через область нестабильных ядер 102-го — 106-го элементов (десант с вертолета), и последовательный синтез элементов (покорение вершины альпинистами) имеют много общего, и в перспективе эти пути сливаются в один; это лишь вопрос времени. А объединяет их главное: прежде чем начать изучать свойства нового элемента, его нужно создать. Для этого требуется ускоритель тяжелых ионов, потому что все другие способы искусственного синтеза, как мы видели на примере трансфермиевых элементов, полностью исчерпали свои возможности.

«Прыжок» на остров Стабильности. Первыми попытались высадиться на остров Стабильности «десантники», как только в распоряжении физиков появились технические средства для высадки десанта — ускорители, способные давать пучки ионов тяжелее элемента

№ 18 — аргона-40. Напомним, что порядковый номер самой тяжелой мишени ограничен ($Z \leq 98$), поэтому продвинуться далеко вперед можно, только увеличивая заряд ядра-снаряда.

В середине 60-х годов лишь физики Дубны и Беркли (США) имели ускоренные ионы аргона. Но уже в начале 70-х годов к ним присоединились ученые Англии и Франции. Кампания по высадке «десанта» длилась с 1967 по 1973 г. Вот координаты мест высадки «десанта»:



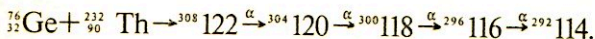
Ни в одном из опытов не было обнаружено никаких следов неуловимых сверхэлементов. Что же случилось с десантом?

Пришла пора держать ответ теоретикам. Следует отдать им должное: ни один из них не отрекся от идеи существования острова Стабильности!

Отсутствие сверхэлементов в некоторых комбинациях не вызывало удивления. Например, при облучении кюрия-248 ($Z = 96$) ионами аргона составное ядро 114-го элемента должно иметь всего 174 нейтрона. Если еще учесть, что из ядра-слитка испаряется 4 нейтрона, то число нейтронов у образовавшегося ядра будет на 14 единиц меньше магического. Следовательно, часть «десантов» была высажена далеко в море Нестабильности и «утонула», не добравшись до острова.

Но среди перечисленных были и такие реакции, продукты которых по всем правилам теории должны были после серии α -распадов попадать на остров. Именно из

этих соображений и было предложено американскими теоретиками В. Святецким и Р. Никсом облучать ториевую мишень ионами германия:



Как объяснить отрицательный результат здесь?

Еще в 60-х годах, когда метод тяжелых ионов стал набирать силу, была установлена истина: чем легче частица-снаряд, бомбардирующая ядра-мишени, тем вероятнее образование нового элемента. Действительно, нейтрон всегда полностью захватывается ядром-мишенью, а у тяжелых ионов все большую роль играют процессы, когда ядру-мишени передается часть нуклонов частицы-снаряда, и все меньшая доля столкновений приводит к слиянию ядер. Отсюда был сделан вывод, что столкновение ионов тяжелее аргона с ядром вообще не приводит к образованию составного ядра.

Запрету на слияние тяжелого иона с ядром теоретики предложили несколько объяснений. По одному из них после столкновения образуется вращающаяся с огромной скоростью ядерная капля, которая сплющивается и вытягивается под действием огромных центробежных сил и в конечном итоге делится на две части.

Выходило, что сверхэлементы — это вещь в себе. Существовать-то они существуют, но получить их искусственно ни одним из способов нельзя!

«Магический» способ. На соседнем направлении последовательного синтеза были свои трудности. Физики хорошо понимали, что изучение ядер 106-го элемента станет важным этапом на пути к новой области стабильности. Однако усилия, предпринятые в течение четырех лет в Дубне и за рубежом — в Беркли и Ок-Ридже (США), оказались тщетными: старые, проверенные на более легких элементах методы оказались недостаточно эффективными. Если, как это

делалось прежде, бомбардировать сравнительно легкими ионами кислорода ($Z=8$) или неона ($Z=10$) тяжелые мишени кюрия ($Z=96$) и калифорния ($Z=98$), то доля «выживших» в конкуренции с делением ядер нового элемента продолжает катастрофически уменьшаться с ростом его порядкового номера. К тому же накопленное в чреве атомного реактора вещество тяжелых мишеней обладает высокой активностью, и его собственное излучение чрезвычайно затрудняет поиск новых ядер. Необходимо было либо существенно улучшить традиционные методы, либо найти оригинальный путь к элементам с атомным номером, большим 105.

Новый метод синтеза высших трансурановых элементов родился в Дубне недавно, в 1973 г. Идея, лежащая в основе метода, была предложена Ю. Ц. Оганесяном, одним из авторов открытия элементов № 104 и 105. Дубненские физики решили вместо тяжелых радиоактивных мишеней использовать магические ядра свинца ($Z=82$), т. е. орудия для обстрела острова Стабильности были перенесены с неудобных низменных прибрежных позиций на самую высокую точку местности — дважды магическую вершину свинца. Для этого были веские основания.

Мы уже много говорили о том, что магические ядра обладают повышенной стабильностью, потому что нуклоны в них связаны особенно прочно. Самыми «плотнупакованными» из всех ядер являются ядра свинца. В ядрах изотопов свинца не только магическое число протонов, но и нейтронные числа, выражаясь математическим языком, лежат в окрестности 126—нейтронного магического числа. При слиянии иона со свинцом избыточная энергия иона расходуется на «распаковку» составного ядра, а на «нагревание» теперь идет лишь малый остаток. В реакции образуются «холодные» составные ядра. В отличие от «горячих», «холодные» ядра «остывают» путем «испарения» не четырех или пяти, а только одного или двух нейтронов.

Возвратимся снова к шахматной задаче. В нашем случае при испарении одного нейтрона (при переходе на одну клетку) количество ядер, «выживших» в конкуренции с делением, уменьшается в 100 раз. На второй клетке остается 0,01% начального числа ядер, а на четвертой — 0,000001%. В «магическом» способе ядро испаряет на два-три нейтрона меньше, чем в обычном, а это равносильно выигрышу в десятки тысяч — миллионы раз, когда речь идет о числе образовавшихся атомов нового элемента.

В этом методе легко решается и другая трудность — проблема фона. Сама мишень теперь вообще не активна, а все побочные реакции дают сравнительно легкие α -активные продукты. Поэтому ничто не мешает экспериментаторам наблюдать спонтанное деление ядер новых элементов.

И еще одна особенность «магического» способа — применение дальнобойной «артиллерии». Ведь место старта перенесено в 82-ю клетку периодической таблицы, а это означает, что для синтеза элементов второй сотни нужно иметь пучки очень тяжелых ионов — тяжелее аргона ($Z = 18$).

А как же быть с запретом на слияние, который извлекли теоретики из результатов опытов на соседнем направлении синтеза сверхэлементов? Чтобы ответить на этот вопрос, создателям метода пришлось критически переосмыслить экспериментальные результаты соседей. Следов сверхэлементов не обнаружили не потому, что ядро-мишень и ядро-снаряд не могли слиться в одну ядерную каплю. Составные ядра образовывались, но это были «горячие» сверхъядра. А в сильно нагретой ядерной капле оболочечные эффекты, благодаря которым существуют сверхъядра, «расплавляются» и исчезают. Это и явилось причиной мгновенной гибели едва родившихся сверхэлементов.

«Пристрелку» нового метода было решено провести на ионах аргона. После слияния аргона и свинца должны

были получаться атомы 100-го элемента — фермия ($\text{Ag} + \text{Pb}$; $18 + 82 = 100$). Эксперимент подтвердил — фермий образуется с ожидаемой эффективностью.

Еще раз о курчатовии. 100-й элемент хорошо изучен, и его изотопы сами по себе большого интереса не представляли. Интересные находки должны были встретиться в области курчатовия, элемента, у которого к 1973 г. было известно лишь четыре изотопа. Вот уже 10 лет прошло со дня открытия первого изотопа курчатовия, а на вопрос о его относительно высокой стабильности все еще не было ответа. Но для синтеза курчатовия «магическим» методом нужен был ионный пучок ускоренного титана ($\text{Ti} + \text{Pb}$; $22 + 82 = 104$).

По проекту 60-х годов трехметровый циклотрон Лаборатории ядерных реакций должен был ускорять ионы не тяжелее азота. За последующее десятилетие благодаря усовершенствованию источника многозарядных ионов и самого ускорителя на циклотроне удалось ускорить кислород, неон и даже аргон. Но все это были газы, а титан — жаростойкий и прочный металл. Эти свойства титана причинили много хлопот физикам, прежде чем они научились «впрыскивать» пары титана в плазму ионного источника. И все же задача трансформации тугоплавкого металла была решена в очень сжатые сроки.

После того как приборы на пульте управления циклотрона стали регистрировать устойчивый и интенсивный ток ионов титана, начались опыты по синтезу курчатовия — работа тонкая, требующая предельного напряжения и, конечно, высокого мастерства. Эксперименты завершились открытием сразу трех новых изотопов курчатовия. Вот где сказались преимущества «магического» способа! Несмотря на то что ускоренных ионов титана было в сотни раз меньше, чем ионов неона, на изучение свойств каждого изотопа потребовалось всего несколько десятков часов работы циклотро-

на. Сравните эту цифру с длительностью первых опытов (свыше 1000 ч), в которых впервые был синтезирован элемент № 104.

Особенно важно, что два новых изотопа были четными. До этого был известен только один четный изотоп курчатовия, синтезированный в Дубне в 1964 г. Другие, полученные в Калифорнийском университете учеными США пять лет спустя, содержали нечетное число нейтронов. Четность нуклонов в ядре играет важную роль. Добавление к ядру одного нуклона сильно меняет его свойства. Но дело не только в этом. Для современной теории атомного ядра данные о четных изотопах новых элементов несравненно важнее, чем о нечетных. Дело в том, что только по свойствам атомных ядер с четным числом протонов и нейтронов теоретики могут предсказать возможные характеристики пока еще не открытых сверхъядер.

Новые данные подтвердили, что необычные свойства первого изотопа курчатовия-260 — не случайное отклонение. Теперь четко проявился скачок в ядерных свойствах элементов при переходе от атомных номеров 98, 100, 102 к 104.

После того как в разных лабораториях мира были изучены свойства нескольких десятков изотопов калифорния, фермия и 102-го элемента, физики заметили, что кроме главных магических чисел, соответствующих заполненным оболочкам, существуют более «слабые» магические числа, связанные с заполненными подоболочками. Последней изученной нейтронной подоболочке соответствуют 152 нейтрона. Все трансураны, ядра которых состоят из 152 нейтронов, обладают повышенной стабильностью. Поэтому если нанести на рисунок периоды полураспада ядер по отношению к спонтанному делению, то получится характерная «елочка», вершина которой соответствует изотопам с $N = 152$.

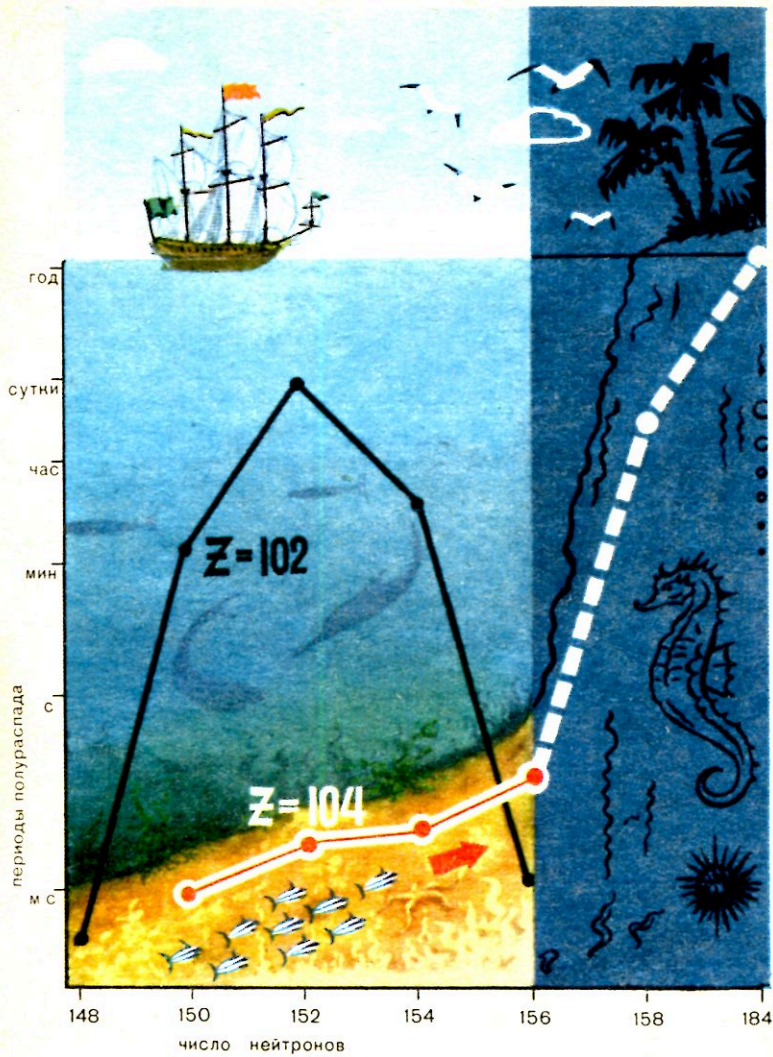
Последняя нейтронная подоболочка помогла теоретикам точнее предсказать положение острова Стабиль-

Отмель у острова
Стабильности, обнаружен-
ная по увеличению
периодов спонтанного
деления изотопов
курчатовия.

ности и свойства сверхъядер. Но та же самая теория говорила, что изотопы курчатовия и более тяжелые ядра уже лежат во владениях острова и чувствуют только стабилизирующее влияние его главного магического числа — $N = 184$. Именно это резкое изменение свойств и наблюдается у курчатовия. В кривой не видно никакого излома: периоды спонтанного деления просто постепенно растут с добавлением нейтронов к ядру. Таким образом, можно сказать, что синтез четных изотопов курчатовия стал первым экспериментальным свидетельством существования сверхэлементов!

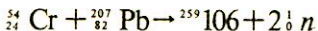
Элемент № 106. Теперь, когда новый, «магический» подход к синтезу далеких трансурановых элементов оправдался и в области 104-го элемента, настало время применить этот метод для синтеза элемента № 106. Уверенность в успехе нового эксперимента подкреплялась замечательным фактом — в процессе облучения свинца тяжелыми ионами эффективность реакции образования 106-го элемента не должна заметно уменьшаться по сравнению с эффективностью синтеза курчатовия. Если бы применялся традиционный подход, выход ядер 106-го элемента по сравнению с выходом курчатовия должен был упасть по крайней мере в 100 раз.

Не все пары ион + мишень могут образовать «холодное» составное ядро, достаточно жизнеспособное, чтобы получились ядра 106-го элемента. Только тщательный теоретический анализ с учетом индивидуальных «симпатий» взаимодействующих ядер помогает найти «гармоничную» пару. Оказалось, что наиболее прямой путь



получения атомов 106-го — облучение свинца ионами очень редкого изотопа хрома с массовым числом 54. Если вместо хрома-54 свинец бомбардировать наиболее доступным изотопом хрома-52, то число родившихся атомов 106-го элемента при прочих равных условиях уменьшится в 100 раз.

В апреле 1974 г. в реакции



впервые был зарегистрирован распад первых атомов 106-го, пятого нового элемента, полученного в Дубне.

Свойства новых изотопов курчатовия и элемента № 106 вселили уверенность, что до сверхъядер остался не слишком долгий путь. Можно сказать, физики уже ступили на отмель у острова Стабильности.

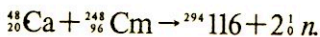
Но не менее важен и другой результат. «Магический» способ открыл путь к синтезу высших элементов: 107, 108, 109-го... Старое испытанное оружие — дубненский циклотрон сейчас для этого достаточно «дальнобоек»: он может ускорять ионы всех элементов вплоть до цинка ($Z = 30$). Полным ходом идут эксперименты по синтезу 107-го элемента в реакциях слияния ядер свинца и марганца-55 ($\text{Mn} + \text{Pb}$; $25 + 82 = 107$), висмута и хрома-54 ($\text{Cr} + \text{Bi}$; $24 + 83 = 107$). Ждет своей очереди реакция ${}_{26}^{54}\text{Fe} + {}_{82}^{82}\text{Pb}$, приводящая к образованию изотопов 108-го элемента. Быть может, когда вы будете читать эту книгу, первые атомы элементов № 107 и № 108 уже оставят следы своего распада в ядерных детекторах лаборатории в Дубне.

Созидание разрушением

Всем хорош «магический» метод, но у него есть один недостаток — самый долгоживущий сверхэлемент вряд ли можно будет получить с его помощью. Любая пара снаряд + мишень всегда после слияния

будет давать нейтроно-дефицитное сверхъядро. Это происходит потому, что у легких стабильных ядер отношение числа нейтронов к числу протонов $\frac{N}{Z}$ всегда меньше, чем у тяжелых. Реакции слияния позволяют высадиться только на северном побережье острова Стабильности.

Максимально приблизиться к центру острова можно в комбинации, когда самый тяжелый изотоп кюрия облучается уникальным изотопом кальция:

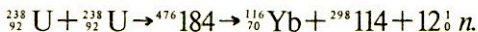


В этом случае появляется надежда получить сверхъядро с $N = 178$, что уже не очень далеко от магического $N = 184$.

Конечно, нельзя упустить возможность высадиться почти в центре острова Стабильности. Уже готовятся средства для «высадки десанта». В 1975 г. в Дубне впервые в мире был получен интенсивный пучок ионов кальция-48. Сделана «пристрелка», в которой мишень из изотопов свинца бомбардировалась ионами кальция-48. Изотопы 102-го элемента ($\text{Ca} + \text{Pb}$; $20 + 82 = 102$) рождались с ожидаемой эффективностью — несколько тысяч атомов за час работы циклотрона. До появления «магического» метода о таком большом эффекте можно было только мечтать. На этом пути к острову Стабильности зажегся зеленый свет!

Слияние — деление. Существует еще один метод получения новых ядер. Все время на любом направлении над проблемой синтеза трансурановых элементов висел дамоклов меч — деление ядер. А что если это оружие использовать в своих целях? Ведь известно, что при делении урана в нейтронных потоках ядерного реактора синтезируются существующие в природе лишь в ничтожных количествах элементы № 43 (технеций) и № 61 (прометий). На 1 кг осколков деления урана-235 приходится около 7 г технеция.

Лет десять назад один из нас предложил искать ядра сверхэлементов среди осколков деления гигантских ядер, образующихся при бомбардировке урановой мишени ускоренными ядрами урана:



В те годы, когда еще только начинали работать первые ускорители тяжелых ионов, физики могли лишь мечтать о таких опытах. Даже «арены» дубненского трехметрового циклотрона не хватало для того, чтобы ускорить такого громадного «слона», как ядро урана. Для ускорения нужно было бы вырвать из урановой электронной оболочки около 20 электронов, но ни одному ионному источнику такая задача не под силу.

Тандем-циклотрон. В 1966 г. в соседнем зале Лаборатории ядерных реакций появился младший брат — двухметровый циклотрон. Задумались физики: что если многоступенчатый принцип ускорения, который давно используется в ракетно-космической технике для увеличения мощности и дальности полета всей системы, применить к циклотронам? Сначала отработает более мощная первая ступень — трехметровый циклотрон, а дальнейшее ускорение продолжит вторая ступень — двухметровый циклотрон. Расчеты показали, что «дальнобойность» системы двух циклотронов — тандем-циклотрона — должна значительно возрасти. На тандем-циклотроне можно было получить пучки ионов элемента № 54 — ксенона-136.

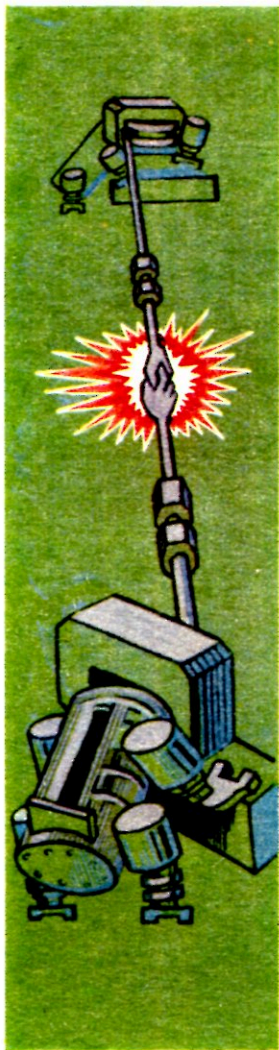
Эта очень сложная техническая проблема была реализована в 1971 г. большим коллективом, возглавляемым И. А. Шелаевым. Ускоренные в трехметровом циклотроне девятизарядные ионы ксенона выводились из камеры ускорителя. С помощью сложной системы поворотных и корректирующих магнитов и магнитных линз пучок ксенона транспортировался по ионопроводу к двухметровому циклотрону, расположенному от пер-

вого на расстоянии 70 м. Ионопровод — труба, в которой поддерживается глубокий вакуум. У входа во второй циклотрон пучок проходит через тонкую углеродную пластинку. При прохождении ионов ксенона через углерод «сдирается» еще часть электронной «шубы», и в результате образуется пучок тридцатизарядных ионов ксенона. А ионы ксенона с таким большим зарядом до нужной энергии может легко ускорить даже двухметровый циклотрон.

Трудности при наладке тандем-циклотрона растут не в два раза, а в десятки раз. Теперь нужно добиться не только того, чтобы все части каждого из циклотронов работали слаженно, но и синхронности всей системы. Даже при ювелирной настройке длинный путь до мишени проходят не все ионы. Интенсивность ксенона в тандем-системе получается в сотни раз меньше интенсивности ксенона из трехметрового циклотрона. Но первые опыты с уникальными ионами можно было начинать.

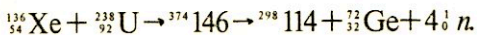
Таинственный излучатель

Важно было понять, что проис-



ходит при столкновении таких «массивных» частиц, как уран и ксенон, возможно ли их слияние и затем деление? Эксперименты показали, что метод слияния-деления вполне пригоден для синтеза сверхэлементов. В результате деления гигантских ядер образуются сотни изотопов самых разных элементов, в том числе и тяжелых. Если метод слияния можно сравнить с обстрелом острова Стабильности обычными снарядами, каждый из которых попадает только в одну точку, то в методе деления обстрел ведется шрапнелью — снарядом, который, разрываясь в воздухе на осколки, сразу покрывает большую площадь.

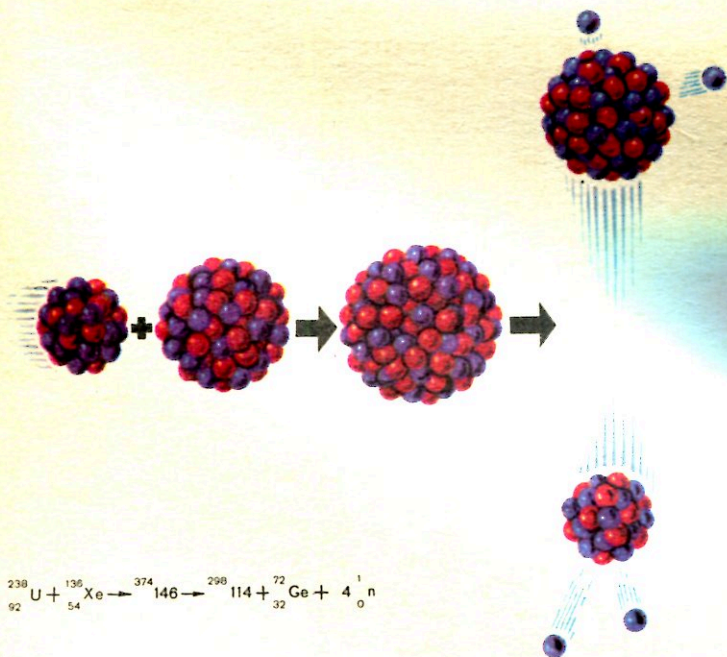
Уже в первых опытах было обнаружено образование нейтроноизбыточных ядер тяжелых трансурановых элементов, которые раньше получались только при термоядерных взрывах! Особенно был важен для синтеза сверхэлементов экспериментальный факт: чем более тяжелый ион сталкивается с ураном, тем более тяжелые ядра появляются среди осколков деления. Оказалось, что при облучении урана ксеноном уже можно ожидать образования сверхэлементов:



Начались многомесячные эксперименты, специально направленные на синтез сверхэлемента в этой ядерной реакции. И вот среди продуктов реакции физики обнаружили неизвестный спонтанно делящийся излучатель с временем жизни свыше 100 дней! Не исключено, что это один из представителей острова Стабильности. Однако он образуется в очень малых количествах: один акт деления регистрируется за 10 суток. Пока в результате очень длительных облучений и измерений удалось наблюдать всего 30 актов распада, на основании которых можно указать лишь самые общие свойства нового излучателя. Стало известно, например, что после химического разделения продуктов распада он наблюдается в химической фракции тяжелых металлов — таллия,

Сверхэлементы могут
оказаться среди осколков
деления гигантских ядер,

образовавшихся в
результате столкновения
ядер ксенона и урана.



свинца, висмута. Сейчас проводятся дополнительные опыты по более детальному изучению необычных свойств таинственного незнакомца.

Второе поколение ускорителей тяжелых ионов. Дубненские физики — пионеры в использовании очень тяжелых ионов, таких, как титан ($Z=22$), хром ($Z=24$), цинк ($Z=30$), германий ($Z=32$), ксенон ($Z=54$). До сих пор не превзойден рекорд «дальнобойности», установ-

ленный дубненским tandemом! Вместе с тем после экспериментов с ионами ксенона стало ясно, что первое поколение ускорителей тяжелых ионов свои возможности исчерпало. Для решения проблемы сверхэлементов требуется новое поколение ядерно-физических установок, способных давать высокоинтенсивные ускоренные пучки ионов всех элементов периодической системы, включая уран ($Z = 92$).

Открытие курчатовия стало поворотным моментом в истории трансуранов еще и в том отношении, что после этого синтез новых элементов перестал быть монополией одной страны. Еще более интернациональными становятся исследования важной и сложной проблемы сверхэлементов. Интерес к проблеме синтеза сверхэлементов настолько велик, что в разных странах быстрыми темпами сооружаются ускорители тяжелых ионов второго поколения. В 1974 г. начались опыты с ионами криптона ($Z = 36$) на новом американском ускорителе «Суперхайлак». В дальнейшем эта установка должна дать и пучки более тяжелых ионов, включая ксенон и уран. В 1975 г. введен в действие ускоритель «Унилак» в ФРГ. Начато строительство новых мощных ускорителей во Франции. В Дубне строится циклотрон с диаметром полюсов 4 м, а в будущем планируется создание еще более мощной установки.

Есть все основания утверждать, что в ближайшем будущем наука обогатится новыми открытиями и уж по крайней мере будет получен окончательный ответ на вопрос, существует ли остров Стабильности в океане нестабильных тяжелых ядер.

Ионный луч

Природа все крепче хранит свои тайны, все больше усилий нужно затратить, чтобы вырвать их у нее. Новые ускорители — сложные и дорогостоящие сооружения.

Корабли разных стран
отправились к острову
Стабильности. Морской
змей символизирует

гипотезу ядерной вязкости,
согласно которой тяжелые
ядра не могут сливаться
друг с другом.

Поэтому возникает вопрос: «Окупятся ли затраты?» Однако следует всегда иметь в виду, что помимо чисто научных, фундаментальных проблем новые ускорители позволят решить целый ряд научно-технических, прикладных задач.

Пока трудно предвидеть все последствия творения сверхэлементов, ответить на вопрос, окажется ли остров Стабильности островом сокровищ. Однако есть основания считать, что открытие сверхтяжелых атомов будет иметь для человечества не меньшее значение, чем открытие ядерного деления. Если свойства сверхъядер предсказаны правильно, то сверхэлементы могут оказаться куда более мощными и компактными источниками энергии, чем уран и плутоний! Но если сверхэлементы пока «журавль в небе», то «синицу» физики уже поймали.

Кроме синтеза новых элементов пучкам тяжелых ионов, ионным лучам, нашлось еще много дел. Это далеко не первый случай в истории науки, когда средства, первоначально предназначавшиеся для решения чисто научных задач, находили впоследствии чрезвычайно важное практическое применение. Так, например, обстояло дело со световыми пучками, генерируемыми лазерами.

Но воздействие ионного луча на вещество значительно сильнее и эффективнее. Раньше мы сравнивали тяжелый ион со слоном. Когда ион влетает в твердое вещество, он действительно ведет себя там, как слон в посудной лавке. Последствия такого «визита» бывают самые катастрофические. На всем своем пути ион оставляет следы разрушений — «сдирает» со встретившихся на пути атомов электронные оболочки, выбивает атомы со своих «насиженных» мест или разваливает ядра ато-

Уело промагоб

20

50

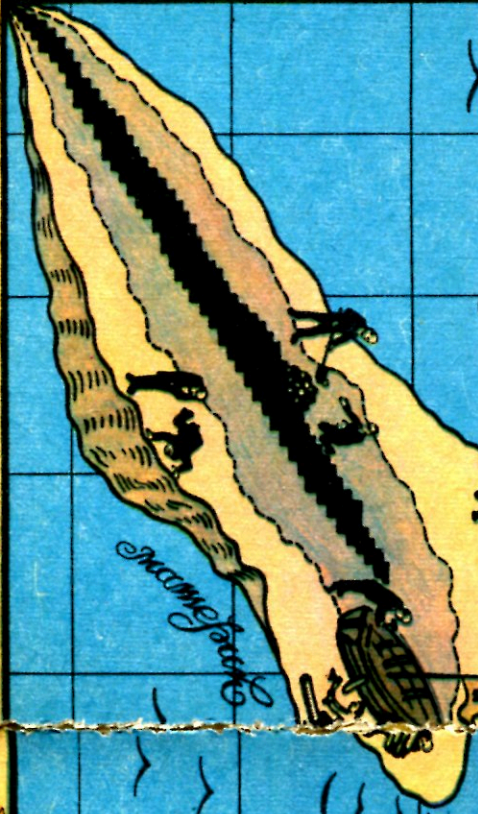
82

126

К И П Л Я И З О Т О Р О В



Гробо



Иамегама

Суара

182



Галебна
Бозубене

Истемача
Истемача



Илу мгодогос

20

50

82

124

мов на куски. А в конце туннеля разрушений нередко появляется новый «житель» — растерявший всю свою энергию ион. Если лазерный пучок действует на вещество в основном посредством сильного нагрева, то воздействие пучка тяжелых ионов — комплексное. Прежде всего, механическое и термическое: тормозясь в веществе, ионы теряют энергию, и она выделяется в виде тепла. Кроме того, вклиниваясь в кристаллическую решетку вещества, тяжелые ионы изменяют его состав — химическое воздействие. Наконец, продукты ядерных реакций вызывают радиационное воздействие на вещество.

«Ионная архитектура». С помощью магнитных линз ионный луч можно сделать очень узким, с диаметром в несколько микрон. «Ионным карандашом» можно рисовать любые узоры в веществе — он легко управляем.

В полупроводниковой промышленности уже широко применяется метод «вбивания» или имплантации тяжелых ионов. Управляя ионным лучом, внутри полупроводника создают определенную конфигурацию примеси химического элемента, а регулируя энергию частиц — глубину расположения примеси. Получаются очень сложные структуры, которые заменят электронное устройство, например радиолампу или даже часть радиосхемы. «Ионная архитектура» дает возможность создавать очень сложные и в то же время микроминиатюрные электронные устройства.

Имплантация ионов может решить старые технические проблемы. Подобно тому как в медицине существует проблема биологической несовместимости тканей разных людей, в промышленности есть проблема физической несовместимости различных веществ. Никакими способами невозможно, например, получить сплав железа и свинца. Интенсивные пучки тяжелых ионов могут подавить любую несовместимость, вогнать в материал добавки любых необходимых элементов и

получить сплавы с необычной прочностью, термостойкостью, не поддающиеся химическому разрушению.

Сверхпроводимость при комнатной температуре.

Применение тяжелых ионов может сыграть определяющую роль и в решении одной из самых важных проблем, стоящих перед современной наукой, — создании сверхпроводников, сохраняющих свои свойства при обычных температурах, ну а в качестве первого скромного шага — хотя бы выше точки кипения жидкого водорода.

Сейчас для работы сверхпроводников нужны очень низкие «гелиевые» температуры (4°K), которые пока достижимы только в лабораторных условиях. Переход к «водородным» ($20,4^{\circ}\text{K}$) температурам, а тем более к высокотемпературной сверхпроводимости дал бы возможность использовать простую холодильную технику. Это привело бы сверхпроводники в промышленность, на транспорт, в быт.

Оказалось, что основной путь решения проблемы — создание специальных сплавов. Уже созданы сплавы, сохраняющие сверхпроводимость вплоть до температур, всего на долю градуса меньших «водородной». А ионные лучи дают возможность получать любые сплавы и изменять их свойства по заранее заданной программе.

«Рак» атомных реакторов. Радиационные свойства тяжелых ионов пригодились для решения ключевых проблем энергетики — основы развития техники. Запасы нефти и других видов органического топлива истощаются, поэтому энергетикой будущего является ядерная энергетика. Но ее развитие тормозится тем, что материалы, из которых построены атомные реакторы, постепенно разрушаются в результате постоянного облучения нейтронами. Сплавы становятся хрупкими, теряют прочность, материалы разрыхляются и распу-

хают. Внутри атомного реактора постепенно развивается смертельный для него процесс, сравнимый с раковым процессом в живом организме. Особенно опасен станет «рак» для атомных и термоядерных реакторов будущего — ведь потоки нейтронов в этих установках в тысячи и миллионы раз превысят современные.

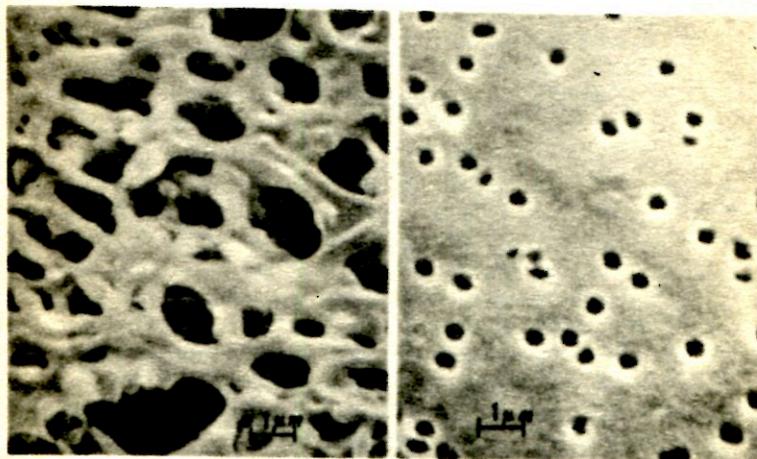
Поэтому ученые настойчиво ищут материалы, имеющие «иммунитет» к реакторному «раку». Но испытание каждого образца путем облучения нейтронами даже в самых мощных современных реакторах занимает очень много времени — долгие месяцы и годы. Тяжелые же ионы в отношении радиационных повреждений, разрушающих материалы, в миллионы раз эффективнее нейтронов. Радиационный эффект, который в атомных реакторах достигается в течение нескольких лет, на циклотроне можно воспроизвести всего за несколько часов. На ускорителях тяжелых ионов уже начаты работы по поиску материалов для атомных и термоядерных реакторов будущего.

Ядерные иглы. Очень широкое применение в самых неожиданных областях науки, промышленности и даже сельского хозяйства может найти простая идея использования тяжелых ионов для производства ультрамелких фильтров. Принцип здесь тот же, что и в детекторах, которые регистрировали осколки спонтанного деления ядер новых элементов. Тяжелый ион, как и осколок деления, работает в качестве «микроиглы». Различные пленки из лавсана, тефлона и других веществ облучают тяжелыми ионами разных элементов. Затем образовавшиеся каналы сильного радиационного повреждения протравливают. Меняя ионы и условия травления, можно получать отверстия диаметром от нескольких десятков ангстрем до нескольких десятков микрон.

Отличаются ядерные фильтры от самых лучших микрофильтров тем, что отверстия в них получаются

Высококачественный
целлюлозный фильтр со
средним эффективным
размером пор 0,45 мкм

(слева) и «ядерный
фильтр» с размером пор
0,4 мкм (справа).



правильной круглой формы и одинакового размера. Обычный микрофильтр не сможет полностью отфильтровать частицы определенного размера, потому что отверстия в нем по величине сильно отличаются друг от друга. Наоборот, ядерные фильтры надежно разделяют даже близкие по величине объекты, например бактерии и вирусы разных типов, выделяют раковые клетки из крови.

Казалось бы, нехитрое устройство — фильтр, а вот эффект от его применения огромный! Например, современной полупроводниковой промышленности он нужен буквально как воздух. При изготовлении сложных интегральных схем, где десятки деталей размещаются на площади в несколько квадратных миллиметров, попадание мельчайшей инородной примеси (пылинки или бактерии) приводит к браку. Поэтому воздух в

цехах должен быть очищен от пыли и микробов. Применение ядерных фильтров для очистки воздуха в несколько раз увеличивает выход продукции.

С помощью ядерных фильтров возможна холодная стерилизация жидких пищевых продуктов, очищение питьевой воды в полевых условиях. Они даже могут задерживать тепловое инфракрасное излучение, длина волны которого больше размеров отверстий. Можно найти еще очень много применений ядерным фильтрам. Если учесть простоту их изготовления и низкую стоимость, то станет ясно, почему появления фильтров с таким нетерпением ждут в самых различных областях науки и народного хозяйства.

Космические полеты. Приведем еще один пример применения тяжелых ионов в далекой от ядерной физики области — для решения проблемы длительных космических полетов. Во время космических полетов организм космонавта нужно защищать от космических лучей. При поиске сверхэлементов в природе в составе космических лучей были обнаружены и тяжелые ионы. Если полет длится много месяцев, то именно эти ионы приносят самый большой вред здоровью космонавта.

После полетов американских астронавтов к Луне по микроотверстиям в шлемах скафандров было обнаружено, что голову астронавта несколько раз «навылет простреливали» тяжелые ионы. На основе полетов к Луне учёные смогли подсчитать, что в течение двухлетнего полета к Марсу космические ионы разрушат 0,1% клеток мозга космонавта. Вот почему так важно найти средства защиты от космических ядер. Медицинские исследования, проводимые с тяжелыми ионами на дубненском циклотроне, помогут человеку достичь других планет Солнечной системы.

Замечательные свойства ионных пучков люди только начинают использовать. Может быть, самые интересные направления еще не открыты. Но уже сей-

час можно утверждать, что применение тяжелых ионов вызовет революцию в технологии и в методах исследования природы. Пучки тяжелых ионов, вызванные к жизни ради изучения и синтеза ядер, становятся важными и для областей, весьма далеких от физики. «Абстрактные» научные открытия всегда влекут за собой цепь важных практических применений.

Возвратимся же снова к «чистой» науке. Что дает ей синтез и изучение новых элементов?

Неоткрытые материки

Одному из нас часто случается встречаться с молодыми людьми, которым предстоит выбрать свой путь в жизни и в науке. И часто приходится отвечать на вопросы, которые могут возникнуть и у вас при чтении этой книги: «Почему Вы, автор многих открытий, человек с громкими титулами и званиями, не почтили на лаврах? Почему Вы постоянно захвачены планами строительства новых мощных ускорителей, организацией научных экспедиций, идеями все новых и новых исследований? Не возникает ли у Вас желания отдохнуть или заняться более спокойной деятельностью?»

Мне кажется, можно дать простой совет, который поможет найти ответ на такие вопросы. Нужно выбрать свободную минуту, посмотреть на свое дело со стороны и подумать, много ли осталось еще сделать по сравнению с тем, что уже сделано. Если меньше или примерно столько же, то, возможно, и стоит поискать какое-нибудь другое занятие.

В нашем случае пока сделана очень малая часть того, что еще предстоит сделать в будущем. А тогда нет места покою, самоуспокоению. Молодая отрасль ядерной физики, которая имеет дело с синтезом новых элементов, бурно развивается. Перед ней стоят грандиозные задачи, многие из которых придется решать вам, будущим ученым.

В стремлении найти границу периодической таблицы Менделеева ученые ушли далеко за уран, последний естественный элемент. За 35 лет было создано 14 синтетических элементов. Казалось, до границы рукой подать: каждый следующий элемент жил все меньшее время. Но тем и увлекательна наука, что каждый новый шаг в неизвестное может привести к неожиданным результатам, открыть новые дали.

Оказалось, что у последних элементов падение времен жизни замедлилось, что указывало на возможность существования стабильных сверхэлементов. Подобно тому как встретившиеся на пути Колумба птицы предвещали приближение земли, свойства последнего, 106-го элемента показали, что до острова Стабильности остался не такой уж длинный путь.

Открылись реальные перспективы создания второй половины таблицы Менделеева из устойчивых сверхтяжелых элементов. История знает много примеров, когда применение даже одного элемента приводило к огромным переменам в жизни всего человечества. Так было, когда человек научился делать из железа орудия труда. Из чудесных свойств германия выросла полупроводниковая промышленность. Уран и плутоний дали возможность человеку использовать ядерную энергию. Есть все основания считать, что не меньшую пользу смогут дать человеку и сверхэлементы.

Удивительные свойства сверхэлементов неудержимо влекут ученых к острову Стабильности. Ведь от природы человеку свойственно горячее стремление проникнуть в области, где еще никто не бывал, узнать нечто, что еще никому не ведомо. Исследователь изучает вещество при сверхвысоких и сверхнизких температурах, в сверхсильных магнитных полях, в глубоком вакууме и под сверхвысоким давлением, считая, что в предельных условиях обязательно обнаружит нечто новое.

А вещество в ядрах сверхэлементов с максимальным числом протонов как раз находится в предельных усло-

виях: на него действуют максимальные силы электрического расталкивания между протонами. Поэтому изучение сверхъядер поможет глубже понять строение ядра. Синтез новых ядер — важный шаг на пути к единой теории ядра, которая смогла бы, подобно периодической системе Менделеева, объяснить и предсказать свойства всех ядер. Это сделало бы человека полновластным хозяином на материке Стабильности и, следовательно, неизмеримо увеличило бы его мощь. Следует помнить, что практически вся масса вещества, а значит, и энергия ($E = mc^2$) сосредоточены в атомных ядрах.

Вероятно, проблема существования острова Стабильности — устойчивых сверхъядер вблизи дважды магического ядра со 114 протонами и 184 нейтронами — будет решена в ближайшие десятилетия. Что останется на вашу долю, долю будущих ученых XXI в.?

Теория предсказывает, что в океане Нестабильности может существовать даже не один, а несколько островов — архипелаг Стабильности. Следующий наиболее «высокий» остров расположен в окрестности дважды магического ядра со 164 протонами и 308 нейтронами. Пока неизвестно, как «доплыть» до этого острова. Может быть, эту задачу придется решать вам.

Какие научные сокровища найдете вы на этих островах? Может быть, это будут ядерные «алмазы» — сверхплотные ядра, существование которых предсказывает современная наука. Подобно тому как углерод может находиться в разных модификациях рыхлого графита и твердого алмаза, так и у самого плотного во Вселенной ядерного вещества может быть стабильное состояние с еще большей плотностью. Искусственные алмазы ученые научились делать, но пока еще никто не может сказать, какие фантастически мощные установки нужно построить для компрессии ядер и производства синтетических ядерных «алмазов».

Вам предстоит осваивать обширные малоизученные новые ядерные материи. Первые шаги сделал человек

по материку Антиядер, расположенному на юго-западе карты изотопов. Уже известны три изотопа антиводорода, а в 1973 г. в Серпухове на одном из самых мощных ускорителей мира были открыты ядра антигелия. Получение и изучение антивещества — сложная задача, принадлежащая будущему.

На стыке физики высоких энергий и ядерной физики был обнаружен и новый материк Гиперядер. Это необычные ядра, в состав которых, наряду с нейтронами и протонами, входят тяжелые элементарные частицы — гипероны. Поэтому на карте изотопов материк Гиперядер нельзя изобразить: кроме двух измерений нужно ввести третье, определяющее число гиперонов в ядре. Пока синтезировано всего несколько десятков изотопов самых легких гиперядер. Путешествие в «гиперпространство» только начинается.

Предстоят вам и путешествия к еще не открытым материкам. Один из них находится далеко на востоке карты изотопов. В продуктах реакций с тяжелыми ионами открыто большое число сильно перегруженных нейтронами ядер. Изучение таких ядер — первый шаг на пути к гигантским «макроядрам» весом около 1 т и размером в сотые доли миллиметра.

Свойства «макроядер» пока получены на кончике пера. Эти ядра могут почти целиком состоять из нейтронов, а стабильность им придают большие гравитационные силы притяжения между нейтронами. Такие «нейтронные капли» являются фактически каплями звездного вещества! Ведь недавно открытые астрономами пульсары (нейтронные звезды) могут оказаться представителями нового класса ядер с атомным числом, примерно равным 10^{40} . Здесь микромир смыкается с макромиром. Рождается новая наука — ядерная астрофизика. Она должна раскрыть механизмы возникновения элементов в природе и оценить их распространенность во Вселенной, углубить наши знания о том, что происходит в недрах звезд и галактик.

Быть может, существуют и другие, пока неизвестные нам материки. Наступление на тайны ядра продолжается. Вам, наследникам Д. И. Менделеева и И. В. Курчатова, покорять труднодоступные «ядерные вершины», открывать «ядерные материки»!

Приложение.

Для тех, кто хочет больше знать

Если у тебя, наш юный друг, после чтения книги появилось стремление побольше узнать о новых элементах, о свойствах новых ядер, поподробнее разобраться в некоторых непонятных для тебя вещах — прочитай это приложение.

Как открыли спонтанное деление. В то время один из нас, бывший дипломник профессора Игоря Васильевича Курчатова, работал под его руководством в Ленинградском физико-техническом институте. Открытие деления ядер урана нейтронами, сделанное в декабре 1938 г. О. Ганом и Ф. Штрасманом, взбудоражило умы ученых — настолько оно было удивительным. После этого счет открытиям в ядерной физике пошел на дни. Только в 1939 г. изучению этого явления было посвящено более сотни работ.

В делении ядер обращало на себя внимание огромное высвобождение энергии в каждом акте. Сразу же после появления первой статьи в 1938 г. ряд ученых (Э. Ферми, О. Ган, Ф. Штрасман) пришли к убеждению, что при делении могут вылетать нейтроны. От того, каким окажется среднее их число, зависело многое. Если оно больше двух, то в принципе можно было бы осуществить цепную реакцию, т. е. высвободить ядерную энергию. И. В. Курчатов предложил нам с Л. И. Русиновым план опыта по измерению этой главной характеристики цепной реакции.

В условиях такого острого соревнования работали очень быстро. Задуманный Курчатовым эксперимент блестяще подтвердился: в среднем при делении урана высвобождалось около трех нейтронов. И здесь нам на своем опыте пришлось убедиться, что судьбу научного приоритета в то время решали дни. 10 апреля 1939 г. эти результаты были доложены на нейтронном семинаре в Физтехе, а в мае выяснилось, что первенство все-таки принадлежало французам: 7 апреля Ф. Жолио-Кюри с сотрудниками послал письмо в журнал «Нейчур» с изложением аналогичных результатов.

Стало ясно: однажды начатое деление ядер урана могло бы продолжаться само собой. Однако здесь возникло противоречие. Для осуществления цепной реакции нужны медленные нейтроны, а при делении вылетают быстрые. Было известно, как замедлять нейтроны. Однако медленные нейтроны делили только уран-235, который содержался в естественном уране в ничтожных количествах. А нельзя ли, не замедляя нейтроны, делить уран-238? Курчатов предложил облучать быстрыми нейтронами природный уран, чтобы попытаться вызвать в нем цепную реакцию.

Сделать эксперимент было поручено нам с К. А. Петраком, тоже бывшим дипломником Курчатова. Работал он в Радиевом институте, где Курчатов заведовал физическим отделом. Как мы потом убедились, это решение Курчатова оказалось правильным. Работе не помешало то, что мы были друзьями. Наоборот, в сумме нас было больше, чем двое.

Схема опыта была простой. Источником нейтронов служила маленькая ампула с эманацией радия — радиоактивным газом радоном. В нее добавляли немного бериллиевого порошка. Испущенные радоном α -частицы, сталкиваясь с ядрами бериллия, вызывали ядерную реакцию, в результате которой из ампулы вылетали нейтроны. В то время радоновая ампула заменяла многим физикам ускоритель — единственный в

мире циклотрон находился в Калифорнийской лаборатории Э. Лоуренса.

Рядом с ампулой располагалась урановая ионизационная камера. В сущности, это просто плоский конденсатор. Пластины камеры заряжаются ионами — потомками пролетевших через газ быстрых осколков деления. Сами осколки вылетают при нейтронной бомбардировке из урана, которым покрыты пластины. Электрические импульсы с пластин поступают на радиоусилитель и регистрирующую аппаратуру.

Изюминка заключалась в том, чтобы получить рекордную чувствительность установки, ведь опыты нужно было вести с природным слабоделящимся ураном. Чем больше урана загружено в камеру, тем выше ее чувствительность. Как увеличить загрузку камеры? Идея родилась от радиоконденсатора переменной емкости. По аналогии с этим устройством в камеру следует поместить не две пластины, а много, причем так, чтобы положительные и отрицательные пластины чередовались друг с другом. А чем больше пластин, тем больше урана.

На словах просто, а на деле... Всю аппаратуру приходилось делать своими руками. Особенно долго пришлось повозиться с камерой. Соль урана покупали в фотомагазинах — ее раньше применяли для усиления и вирирования фотоизображений. Зеленовато-желтые кристаллики азотнокислого уранила прокаливали в печке. Получившуюся окись толкли в агатовой ступке, залитой спиртом, чтобы не надыхаться радиоактивной пылью. Потом в этой черной суспензии растворяли клеящее вещество (шеллак).

Оставалось нанести все это тонким слоем на пластины. Но зазор между ними был всего 3 мм. Пристанет волосок от кисти или попадет крупный кристаллик — и замыкание! Тут-то и помогло то обстоятельство, что Петржак до университета работал художником на фарфоровом заводе. Отработанная веками технология



1939 год. К. А. Петржак (справа) и Г. Н. Флеров в лаборатории. (Кадр из кинофильма «Летопись полувека».)

нанесения узора на тарелку как нельзя лучше подошла для нанесения урана на пластины.

Собрали установку, настроили радиоусилитель. По правилам сначала нужно было посмотреть нулевой эффект, т. е. снять измерение без источника нейтронов. Но прежде все-таки решили посмотреть реальный эффект и поднесли вплотную к камере радоновую ампулу. Счетчик исправно защелкал, регистрируя деление урана нейтронами.

Убрали ампулу, и щелканье прекратилось. Можно было уже считать нулевой эффект отсутствующим, как вдруг раздался щелчок. Потом еще щелчок и еще... Камера регистрировала шесть распадов в час без всякого источника!

Что это? Самопроизвольное деление ядер урана? Существование этого явления предсказывала теория, а Нильс Бор даже рассчитал время жизни урана по спонтанному делению и получил огромное значение — 10^{22} лет. Американский физик У. Либби попытался обнаружить спонтанное деление урана, но ничего не увидел и установил лишь нижний предел, который в 10^8 раз не «дотягивал» до предсказанной Бором величины. Может быть, время жизни урана по спонтанному делению имеет значение, лежащее где-то в неисследо-

ванной области между 10^{14} и 10^{22} лет? Обнадеживало то обстоятельство, что чувствительность нашей ионизационной камеры намного превышала чувствительность установки У. Либби. Но Курчатов сказал: «Скорее всего это какая-то грязь. Проверьте потщательнее».

От внешних помех и наводок — электросети, от грохотавшего рядом трамвая — избавились быстро. Для этого просто нужно было работать ночью. Устранить влияние радиоактивного загрязнения лаборатории в Радиевом институте, где работы с радиоактивностью велись уже два десятка лет? Переехали в Физтех. Камера продолжала исправно выдавать свои шесть импульсов в час!

Казалось, можно было объявлять об открытии. «Если все обстоит действительно так, как это у вас получилось, тогда нужно бросить все остальное и заниматься только одним — год, два, десять, сколько понадобится. Наблюдать новое явление — такое случается раз в жизни, и то не у всех», — подвел итог Курчатов и тут же наметил новую программу контрольных опытов.

В науке одно отрицательное заключение порой весомее десятка положительных. Еще нельзя было полностью исключить, что эффект мог иметь другие причины, не связанные с делением урана. Например, его можно было бы объяснить α -распадом ядер урана. Если одновременно вылетят несколько α -частиц, то их составной импульс можно принять за сигнал от осколка деления. Или на пластинах камеры могут возникать случайные разряды.

Проверки, проверки... Они требовали времени — недель, месяцев. Время шло, а статьи по делению урана печатались в каждом номере физических журналов. Затаив дыхание, открывали свежие номера — боялись обнаружить чье-нибудь сообщение об открытии спонтанного деления.

Наконец, остались только космические лучи, которые, попадая на урановые пластины, могли дать такие

же щелчки. Куда спрятаться от космического излучения?

Сначала думали провести измерения на дне моря в подводной лодке. Но Балтика у Ленинграда мелка, двадцатиметровый слой воды плохо защищает от космического излучения. Остановили выбор на московском метро.

Академик А. Ф. Иоффе, директор Физико-технического института, написал письмо наркому путей сообщения. И вскоре получил ответ не просто с согласием, а даже с обязательством оказать физикам всемерную помощь. Эта бумага помогла быстро перевезти в Москву на «Красной стреле» всю аппаратуру.

Под лабораторию выделили небольшую служебную комнатку на станции метро «Динамо». Она находится на достаточной для эксперимента глубине. Здесь космическое излучение на 95% слабее, чем на поверхности. Полгода, ночами, под землей длилась работа. Повторили все, что делали на уровне моря. Эффект был!

В начале 40-го года Иоффе телеграфом послал наше сообщение об открытии спонтанного деления ядер урана в американский журнал «Физикл ревью», где в то время печатались все основные работы по делению.

Чудом сохранился первый отчет об этой работе. На последней странице написано: «Тот факт, что тяжелые ядра могут самопроизвольно делиться, приводит к крайне существенным следствиям не только в ядерной физике, но и в химии, давая ответ на вопрос о границе периодической системы элементов...»

Устройство циклотрона. Принцип работы первого циклического ускорителя — циклотрона предложил в 1930 г. американский ученый Э. Лоуренс. Он же вместе с С. Ливингстоном в 1932 г. построил первый циклотрон с диаметром полюсов магнита всего 27,9 см.

Ускоряют заряженную частицу (ион) электрическим полем. Передать всю энергию частице сразу, в один

прием трудно. Для этого нужно было бы создать очень сильные электрические поля, в которых разность потенциалов достигла бы нескольких миллионов вольт.

Достаточно взглянуть на высоковольтную линию электропередач, чтобы понять, что такой путь сопряжен с большими техническими трудностями. В ускорителе такое высокое напряжение нужно сосредоточить на малых расстояниях, поэтому тут не помогут самые лучшие изоляторы — возникнет пробой.

Идея Лоуренса состояла в том, чтобы передавать энергию частице маленькими порциями, но многократно.

Ускоряемые ионы движутся из центра циклотрона, где расположен их источник. Ускорительная камера, в которой поддерживается высокий вакуум, находится в магнитном поле.

Известно, что на ион с зарядом e , который движется со скоростью \vec{v} в магнитном поле с индукцией \vec{B} действует сила Лоренца $F = \frac{e}{c} [\vec{v} \times \vec{B}]$. В этой формуле символом c обозначена скорость света. Сила Лоренца направлена перпендикулярно движению иона и магнитному полю, поэтому она непрерывно отклоняет ион к центру циклотрона.

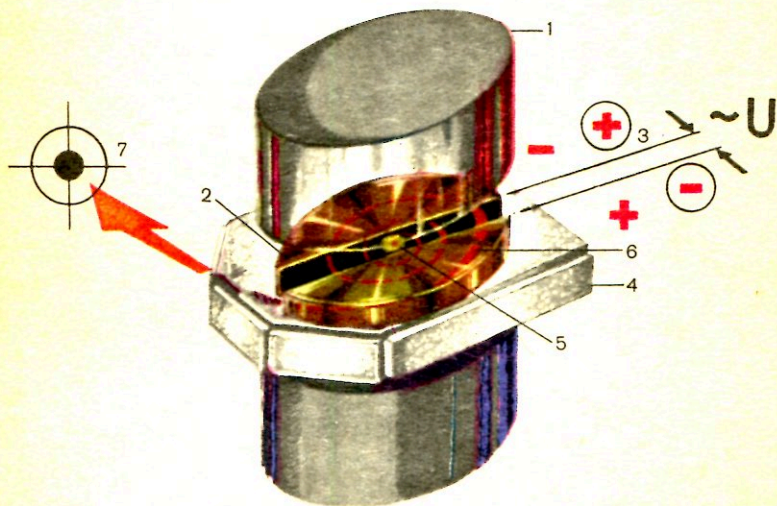
Если бы ион массы M не ускорялся, то он бы двигался по окружности с радиусом $r = \frac{cMv}{eB}$. Этот радиус называется циклотронным. Но поскольку при ускорении иона его скорость увеличивается, то циклотронный радиус непрерывно растет, и частица движется по раскручивающейся спирали.

Для ускорения служат дуанты — два полых металлических полуцилиндра, похожих на половинки разрезанной по диаметру пустой консервной банки. Внутри дуантов и пролегают траектории ионов.

Дуанты заряжены разноименными электрическими зарядами, поэтому в щели между ними — в уско-

Устройство циклотрона.
 1 — полюс электромагнита,
 2 — ускоряющие
 электроды-дуанты, 3 —
 высокочастотное

напряжение, 4 —
 вакуумная камера, 5 —
 источник ионов, 6 —
 траектории ускоряемых
 ионов, 7 — мишень.



ряющем промежутке, существует электрическое поле. Внутри дуантов электрическое поле отсутствует. (Вспомним закон электростатики, согласно которому внутри замкнутой заряженной поверхности поле равно нулю.)

Летя от положительного дуанта к отрицательному, положительный ион отталкивается от первого и притягивается ко второму — ускоряется. Сделав полуоборот, ион снова попадает в ускоряющий промежуток. Теперь ион должен отталкиваться от того дуанта, который перед тем его притягивал, и притягиваться к тому, который отталкивал. Это означает, что дуанты должны изменить заряд на противоположный.

Очень важно, что движение иона в циклотроне является периодическим с частотой $\omega_{\text{и}} = \frac{eB}{Mc}$.

Циклотронная частота $\omega_{\text{и}}$ остается постоянной в процессе ускорения, так как она зависит только от заряда и массы иона и от величины магнитного поля.

На дуанты подается переменное электрическое напряжение от генератора высокой частоты. Если частота генератора равна циклотронной, то установка работает синхронно: в момент прохождения иона между дуантами на него все время действует ускоряющее электрическое поле.

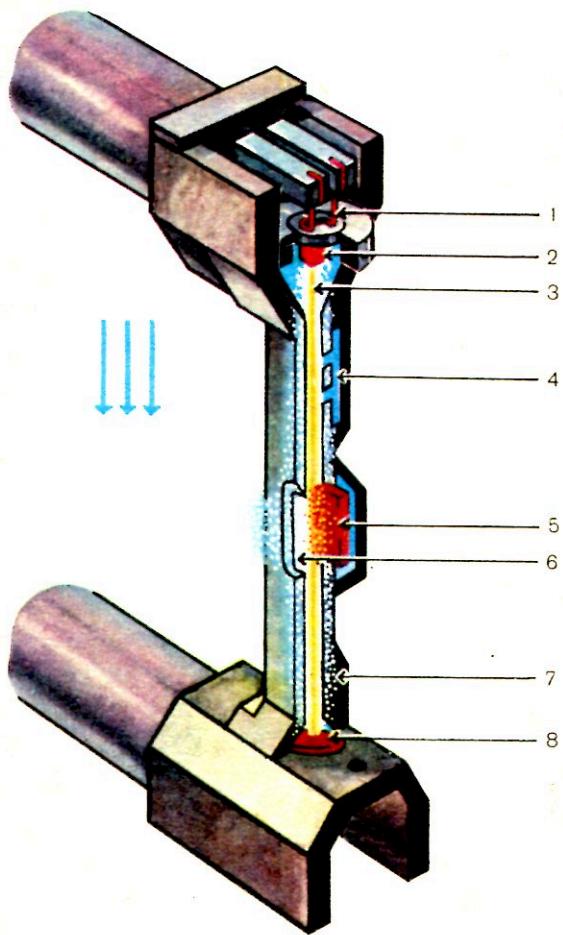
Проходя многократно через ускоряющий промежуток, ион постепенно набирает большую энергию. Предельная энергия определяется радиусом магнита циклотрона $R_{\text{и}}$:

$$T_{\text{пред.}} = \frac{e^2 B^2}{2 Mc^2} R_{\text{и}}^2.$$

Отсюда сразу видно, что чем тяжелее ион ускоряем до данной энергии, тем больше должен быть размер полюсов магнита. Или чем больше заряд иона e , тем до большей энергии его можно ускорить на данном циклотроне.

Вот почему очень важной частью циклотрона является источник многозарядных ионов. От него требуется вырвать из электронной «шубы» нейтральных атомов как можно большее число электронов, т. е. как можно сильнее ионизировать их.

Прообраз ионных источников, которые сейчас снабжают дубненский циклотрон широким ассортиментом ионов, был создан еще в 50-х годах в Институте атомной энергии. Здесь в области разделения изотопов был накоплен большой опыт в изготовлении аналогичных устройств. Этим занимался академик Л. А. Арцимович и сильная группа физиков под его началом. Они-то и сделали источник с рекордными характеристиками.



Конструкция источника
тяжелых ионов: 1 — нить,
2 — катод, 3 —
плазменный шнур, 4 —
подача газа, 5 —
распыляемый электрод,

6 — окошко, 7 — анод,
8 — антикатод. Стрелками
показано направление
силовых линий магнитного
поля.

С тех пор его конструкция непрерывно совершенствовалась, но основные принципы ее остались неизменными.

Раскаленная током нить испускает электроны, которые бомбардируют вольфрамовый катод. Тот в свою очередь сам начинает испускать электроны. Поток электронов под действием напряжения в тысячу вольт устремляется к аноду — длинной медной трубке. Пролетев через нее, электроны отталкиваются от антикатада, имеющего по отношению к аноду тот же потенциал, что и катод. Поэтому электроны летят обратно к катоду и колеблются внутри анода, образуя тонкий шнур. Магнитное поле внутри циклотрона стабилизирует шнур и не дает ему распасться, несмотря на огромную концентрацию электронов.

В зависимости от свойств рабочего вещества применяются разные модификации источника. Проще обстоит дело, когда нужно получить ионы газов, например неона. Тогда в трубку подается газ, который ионизируется под ударами электронов. Если источник должен давать ионы металлов, например титана, то в анод вставляется распыляемый электрод. Плазменный шнур «лижет» его и заставляет металл испаряться. Атомы металла попадают в плазму и там ионизируются. А дальше остается только приблизить к окошку отрицательный электрод и вытянуть положительные ионы из источника в ускорительную камеру.

Успешная работа дубненского трехметрового циклотрона, который вот уже больше 15 лет остается непревзойденным по своим параметрам, показала, что циклотроны еще не сказали своего последнего слова в ускорении тяжелых ионов. Именно поэтому мы свя-

зываем свое будущее со строительством циклотрона с диаметром полюсов четыре метра.

Хронология новых элементов. В последней главе приложения нам хотелось бы коротко рассказать о том, как, когда и где были открыты трансурановые элементы. Это тем более необходимо, поскольку часто еще во многих учебниках и книгах в последних клетках таблицы Менделеева можно встретить не совсем правильные обозначения.

Подробно и увлекательно история открытия каждого элемента описана в последнем выпуске «Популярной библиотеки химических элементов», вышедшей в свет под редакцией академика И. В. Петрянова-Соколова в издательстве «Наука» в 1974 г. Здесь мы лишь приведем таблицу с краткими сведениями (см. 3 стр. обл.). В первой колонке указан порядковый номер элемента в периодической таблице, во второй — его название и химический символ. Третья колонка показывает, какой изотоп данного элемента был синтезирован впервые и какие ядерные превращения произошли при этом и наконец, в предпоследней и последней колонках приводятся год и страна, в которой было сделано открытие элемента.

Если у вас есть под рукой какая-нибудь книга или учебник с таблицей Менделеева, взгляните на нее повнимательнее. Названия и химические символы элементов совпадут с нашей таблицей вплоть до менделевия. Но уже химический символ 102-го элемента будет отличаться от нашего, да к тому же он еще окажется в скобках. Что скрывается за скобками?

Вплоть до 101-го элемента хорошо работали старые, проверенные способы получения и опознания трансуранов. Американские ученые ушли вперед и обладали монополией в этой области.

Но следующие элементы уже нельзя было получать традиционными методами. Нужно было переходить на

тяжелые ионы. Кроме того, все намного осложнилось тем обстоятельством, что опознание «личности» отдельных короткоживущих атомов нового элемента происходило на фоне сильно мешающих радиоактивных излучений миллиардов побочных атомов. Неудивительно, что в такой трудной ситуации некоторые работы оказались ошибочными. Это и вызвало не прекращающиеся до сих пор дискуссии в вопросе о приоритете открытия и о названии новых элементов.

104-й элемент был открыт раньше, чем элементы № 102 и 103. Но это не означает, что здесь ученые нарушили существовавший прежде обычай последовательно, один за другим открывать новые элементы. К работам по синтезу элемента № 102 еще в 1956 г. приступили исследователи сразу трех институтов: Нобелевского института физики в Стокгольме, Калифорнийского университета в Беркли и Института атомной энергии в Москве.

Известие об открытии не заставило себя долго ждать. Не прошло и года, как из Нобелевского института пришло сообщение, что при облучении кюриевой мишени ионами углерода ($\text{Cm} + \text{C}; 96 + 6 = 102$) обнаружены атомы 102-го элемента. Тут же ему дали имя «нобелий» (символ No). Однако через несколько месяцев в Беркли в точности воспроизвели стокгольмские опыты и... не нашли активности с описанными свойствами.

В Беркли поставили новые эксперименты и в 1958 г. объявили об открытии изотопа $^{254}102$. Надежность этих данных долгое время ни у кого не вызывала сомнений, и в Дубне приступили к получению нового, 104-го элемента. В этой работе потребовалось более точно знать свойства изотопов 102-го элемента, которые могут образовываться после α -распада изотопов 104-го. В 1963 г. были сделаны модельные опыты. И что же? Изотоп $^{254}102$ жил не 3 с, а 65 с; спонтанное деление он испытывал не в 30% случаев, а в одном случае из 1800!

Десять лет (!) кропотливого труда понадобилось физикам разных стран, чтобы наконец разобраться, каковы же истинные свойства изотопов элемента № 102. Первые правильные сведения о 102-м были получены в Дубне в 1963 г.

Примерно так же обстояло дело и с элементом № 103. И здесь на основании ошибочных опытов 1961 г. в Беркли новому элементу дали название «лоуренсий» (Lr). А впервые точные данные о свойствах 103-го элемента были получены в Дубне в 1965 г. в модельных опытах для синтеза элемента № 105.

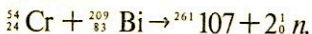
В науке очень важно уметь критически и требовательно относиться к своим результатам, многократно проверять и перепроверять их, чтобы свести к минимуму возможность ошибки.

Пример такого требовательного отношения показал одному из нас И. В. Курчатов при открытии спонтанного деления.

Пользуясь правом первооткрывателей, ученые социалистических стран, работающие в Объединенном институте ядерных исследований, предложили назвать элемент № 102 жолиотием (Jl) в честь Ф. Жолио-Кюри, а элемент № 103 — резерфордием (Rf) в честь Э. Резерфорда. Тем самым они продолжили традицию давать новым элементам имена выдающихся ученых. Следующему, 104-му элементу было присвоено имя выдающегося советского физика и организатора науки академика И. В. Курчатова. 105-й элемент был назван нильсборием (Ns) в честь великого датского физика Нильса Бора. Только что открытый 106-й элемент пока ещё не имеет своего названия.

В последний час. В наш век научно-технической революции открытия порой делаются быстрее, чем пишутся книги. В середине 1976 г., когда работа над этой книгой уже заканчивалась, в Дубне был завершён цикл экспериментов по синтезу элемента № 107. Изотоп

нового элемента с массовым числом 261 был получен в реакции



Оказалось, что новый изотоп живет примерно 1 мсек и затем, испытывая преимущественно α -распад, превращается в изотоп ${}^{257}_{105}\text{Lr}$. Спонтанное деление ядра ${}^{261}_{107}\text{Lr}$ наблюдается редко, период его полураспада около 0,01 сек. Это в 10^{10} раз больше того значения периода полураспада, которое было бы у ядра ${}^{261}_{107}\text{Lr}$, если бы не было повышения стабильности тяжелых ядер.

У мореплавателей есть примета: если им на пути встретится несколько птиц фазанов, то их полет указывает направление к уже близкой земле. Свойства открытых в Дубне новых изотопов 104, 105, 106 и 107-го элементов показывают: остров Стабильности существует!

И в 1977 г. пришло еще одно подтверждение существованию острова Стабильности. В метеоритах и в ионообменной смоле, через которую фильтровались геотер-

мальные воды (см. с. 62—64), был обнаружен новый спонтанно делящийся излучатель. Его ядра при делении в среднем испускают 3—6(!) нейтронов. Летучесть вещества, ядра которого столь необычно делятся, близка к летучести химических соединений полония и свинца. Примерно такие свойства предсказывает теория для сверхтяжелых элементов. Эксперименты продолжаются...

*



На пути к сверх- элементам

Георгий Николаевич
Флеров,

Александр Сергеевич
Ильинов

ДЛЯ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО
ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Содержание

- 3 Загадки периоди-
ческого закона
- 8 Материк Стабиль-
ности
- 16 Нейтронный син-
тез
- 23 Трансураны
- 28 Тяжелые ионы
- 39 Курчатовий
- 48 Что такое сверх-
элемент?
- 54 Поиски «долгожи-
телей»
- 69 Отмель у острова
Стабильности
- 78 Созидание разру-
шением
- 84 Ионный луч
- 93 Неоткрытые ма-
терики
- 97 Приложение

Рисунки
инженера
Лаборатории
ядерных реакций
ОИЯИ г. Дубны
Минина Е.

В оформлении
книги принимали
участие худож-
ники:

Лухин С.
Спиров Н.
Сухомлинов В.

Фото
Туманова Ю.

Макет художника
Иванова В.

Редактор
О. Владимирская

Художественный
редактор
В. Храмов

Технический редактор
И. Пономаренко

Корректор
Р. П. Семченкова

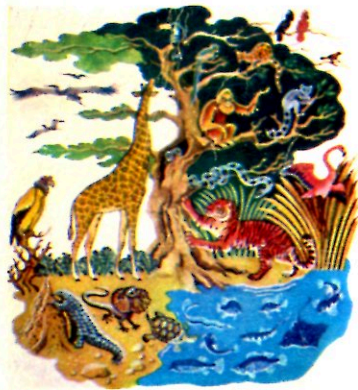
ИБ № 90.

Сдано в набор 15.12.1976 г.
Подписано в печать
2.09.1977 г. А01654. Фор-
мат 70+100 $\frac{1}{32}$. Бума-
га офсетная № 2. Печ.
л. 3,5. Усл. печ. л. 4,5.
Уч.-изд. л. 4,95. Тираж
200 000 экз. (Т. п. 1977 г.
№ 41.). Заказ № 2434. Це-
на 30 коп.

Издательство «Педагоги-
ка» Академии педагогиче-
ских наук СССР и Государ-
ственного комитета Совета
Министров СССР по делам
издательств, полиграфии и
книжной торговли.
Москва, 107066, Лефортов-
ский пер., 8.

Ордена Трудового Красно-
го Знамени Калининский
полиграфический комби-
нат Союзполиграфпрома
при Государственном ко-
митете Совета Министров
СССР по делам изда-
тельств, полиграфии и
книжной торговли.
г. Калинин, пр. Ленина, 5.

Порядковый номер	Элемент и его символ	Способ получения	Год открытия	Место открытия
93	Нептуний (Np)	${}^1_0n + {}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{239}_{92}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} {}^{239}_{93}\text{Np}$	1940	США
94	Плутоний (Pu)	${}^2_1\text{H} + {}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow 2{}^1_0n + {}^{239}_{94}\text{Pu}$	1941	США
95	Америций (Am)	${}^1_0n + {}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^1_0n + {}^{240}_{94}\text{Pu} \rightarrow$ $\rightarrow {}^{241}_{94}\text{Pu} \xrightarrow{\beta^-} {}^{241}_{95}\text{Am}$	1944	США
96	Кюрий (Cm)	${}^4_2\text{He} + {}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{242}_{96}\text{Cm} + {}^1_0n$	1944	США
97	Берклий (Bk)	${}^4_2\text{He} + {}^{241}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{243}_{97}\text{Bk} + 2{}^1_0n$	1949	США
98	Калифорний (Cf)	${}^4_2\text{He} + {}^{242}_{96}\text{Cm} \rightarrow {}^{244}_{98}\text{Cf} + {}^1_0n$	1950	США
99	Эйнштейний (Es)	${}^{235}_{92}\text{U} + 15{}^1_0n \xrightarrow{\beta^-} \dots \xrightarrow{\beta^-} {}^{253}_{99}\text{Es}$	1952	США
100	Фермий (Fm)	${}^{235}_{92}\text{U} + 17{}^1_0n \xrightarrow{\beta^-} \dots \xrightarrow{\beta^-} {}^{255}_{100}\text{Fm}$	1953	США
101	Менделевий (Md)	${}^4_2\text{He} + {}^{253}_{99}\text{Es} \rightarrow {}^{257}_{101}\text{Md} + {}^1_0n$	1955	США
102	Жолиотий (Jl)	${}^{15}_7\text{N} + {}^{243}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{258}_{102}\text{Jl} + 4{}^1_0n$ ${}^{16}_8\text{O} + {}^{242}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{254}_{102}\text{Jl} + 4{}^1_0n$ ${}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{256}_{102}\text{Jl} + 4{}^1_0n$	1963-1966	СССР Дубна
103	Резерфордий (Rf)	${}^{16}_8\text{O} + {}^{243}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{259}_{103}\text{Rf} + 5{}^1_0n$	1965	СССР Дубна
104	Курчатовий (Ku)	${}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^{242}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{260}_{104}\text{Ku} + 4{}^1_0n$	1964	СССР Дубна
105	Нильсборий (Ns)	${}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^{243}_{95}\text{Am} \rightarrow {}^{261}_{105}\text{Ns} + 4{}^1_0n$	1970	СССР Дубна
106	-	${}^{36}_{18}\text{Cr} + {}^{207}_{82}\text{Pb} \rightarrow {}^{243}_{106} + 2{}^1_0n$	1974	СССР Дубна



**Читайте
следующую
книгу
библиотечки**

**«Ученые —
школьнику»!**

●
**Какова роль животных
в биосфере Земли?**

●
**Как человек воздейству-
ет на животный мир?**

●
**Почему исчезли многие
виды животных на на-
шей планете?**

●
**Бывают ли «вредные» и
«полезные» животные?**

●
**Что такое охрана живот-
ных и какова роль запо-
ведников, националь-
ных парков в охране
окружающей среды?**

●
**Много интересных све-
дений о современном со-
стоянии животного мира
вы получите из книги
доктора биологических
наук **А. Г. Банникова.****

