

С 341.2.Г

25 3 68

Ф-716

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

D7 - 3623



Г.Н.Флеров

ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕЗА НОВЫХ ИЗОТОПОВ
И ЭЛЕМЕНТОВ

АЛГОРИТМЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1967.

D7 - 3623

Г.Н.Флеров

ПЕРСПЕКТИВЫ СИНТЕЗА НОВЫХ ИЗОТОПОВ
И ЭЛЕМЕНТОВ

Стенограмма доклада в Варшаве, окт. 1967г.



5561/1 мр.

В наши дни трудно представить себе, чтобы где-то на Земле люди не знали, что такое радий или что значит слово "радиоактивность". Мария Склодовская-Кюри вместе с Пьером Кюри подарила человечеству и этот элемент и это понятие.

Со времени величайшего открытия началось широкое и систематическое исследование естественной, а затем и искусственной радиоактивности. И это явилось неоценимым вкладом в наши представления о строении вещества, в науку об атомах ядер.

Ядерная физика исследует структуру ядер как стабильных, так и радиоактивных. Чем больше различных изотопов исследовано, тем полнее раскрывается перед нами картина строения ядерной материи. Естественно поэтому проанализировать, насколько далеко продвинулись мы в этом направлении, сколько уже синтезировано и изучено изотопов и сколько еще предстоит получить и изучить экспериментаторам в будущем. Ответ на этот вопрос можно получить, взглянув на рис. 1. На этом рисунке изображены уже синтезированные и возможные изотопы, которые, по-видимому, могут быть изучены в будущем с различными Z (Z - число протонов в ядре) и $N = A - Z$, (N - число нейтронов в ядре, A - массовое число). Стабильные изотопы изображены темными квадратами. После открытия супругами Жолио-Кюри в 1934 году искусственной радиоактивности различными способами в ядерных реакциях было получено еще около 1500 изотопов, причём примерно 100 из них - в трансурановой области.

Масштаб рисунка настолько мелкий, что деление ядер, которое определило технический прогресс 20 века, на этой карте изотопов оставило лишь маленькие выступы А и Б. Внешний контур, представленный сплошной линией, обозна-

чает границы области стабильности, полученные на основании теоретических расчётов. Легко видеть, что область синтезированных изотопов очень мала по сравнению с областью, которую предстоит заполнить. Оценка числа возможных изотопов в этой области дает величину четыре-пять тысяч. Это значительно больше всего полученного до сих пор.

Возникают два вопроса:

1. Чего можно ожидать от исследования этих изотопов и, следовательно, нужно ли их получать?

2. Можно ли их получить?

На взгляд коллектива физиков и химиков, работающих в Дубне, безусловно нужно пытаться получать эти изотопы и изучать их. Синтезируя такие изотопы, как, скажем, кальций-70 или кальций-31, мы получим в свое распоряжение ядра с очень необычными соотношениями чисел протонов и нейтронов ($20p$ и $11n$ или $20p$ и $50n$). В этом случае мы сможем изучать ядерное вещество в крайне необычных состояниях. Такой методологический подход весьма характерен для физики вообще. Так, например, исследователи изучают поведение вещества в сильных магнитных полях, при очень больших давлениях, в условиях высоких электрических полей и т.д. С этой точки зрения изучение ядерной материи, когда соотношение между кулоновскими и ядерными силами необычно, позволит получить очень полезную информацию о свойствах ядерного вещества. В связи с этим становится понятным особый интерес к изучению далеких трансурановых элементов, где и кулоновские, и ядерные силы очень велики.

Каким образом можно получать новые изотопы?

Эту задачу пытались решать многими способами. В частности, для получения очень тяжелых изотопов трансурановых элементов в Соединенных Штатах использовались подземные ядерные взрывы. Суть этого метода состоит в том, что в нейтронных потоках предельно большой плотности ядра последовательно захватывают несколько нейтронов, не успев испытать бета-распад. Это дает возможность получить из исходного урана-238 очень тяжелые изотопы урана, которые после нескольких бета-распадов превращаются в более далекие элементы.

Первые опыты делались не специальным образом.

В 1952 году в США в результате взрыва не подземного, а наземного, с не очень большим потоком нейтронов, был открыт 100-й элемент с массой 255. Исходя из самых общих соображений, можно было предположить, что если получить потоки значительно большие и, если делать специальную экспрессную химию, то это должно привести к успеху в попытке продвинуться к большим атомным номерам. Оптимистические оценки показывали, что так можно получить элементы с большим значением Z . Ожидалось, что таким способом может быть синтезирован 110 элемент, 112 и т.д.

Найдется немного примеров, когда для достижения цели - получения больших потоков нейтронов и химического извлечения трансурановой фракции было затрачено столько усилий, но ученые были воодушевлены высокой задачей проникновения в область долгоживущих изотопов далеких элементов и сделано было, как мы считаем, максимум того, что вообще можно сделать. Однако этим методом к 1966 году удалось получить лишь изотоп 100-го элемента с массой 257, т.е. за 14 лет этим способом продвинулись даже не по Z , а по A всего на две единицы. Нам не кажется, что это показывает полную безнадежность метода; по-видимому, существуют какие-то дополнительные возможности. Однако видно, что есть физическая причина, которая пока не позволяет продвинуться в область новых элементов таким способом.

Другой метод синтеза новых ядер, разработка которого параллельно была начата в 1954 году и в Соединенных Штатах и в Советском Союзе, по-видимому, на одинаковой идейной основе, - это попытка использовать тяжелые ускоренные частицы: углерод, кислород, неон, аргон. В этом случае принципиально возможны два пути: во-первых, от сложного ядра могут отрываться куски ядерной материи, скажем, сразу пять-семь нейтронов, и, таким образом, вместо последовательного захвата ядро-мишень может захватить сразу целый комплекс нейтронов.

Действительно, реакции такого типа изучались. В Дубне наблюдалась передача 5-8 нейтронов. Сечение уже такого процесса мало, хотя мы при этом не уходим далеко от области стабильности. Чтобы проникнуть в области нестабильности (рис. 1), необходимо стабильные ядра обогатить 40-50 нейтронами. Сечение этого процесса будет настолько малым, что этот метод даже при использовании более тяжелых частиц мало что обещает.

Второй путь заключается в том, что вместо процесса передачи комплексов нуклонов используются реакции слияния. Для примера рассмотрим, что должно получиться при облучении, скажем, свинца-208 неона-20. В этом случае компаунд-ядро-уран-228 будет иметь возбуждение около 60 Мэв. В результате из него будет испущено 6 нейтронов и будет синтезирован легкий изотоп уран-222. Этот способ дает нейтронообедненные изотопы.

Этим методом, в частности, были синтезированы нейтронодефицитные изотопы - излучатели протонов. В Дубне В.А.Карнаухову с сотр. и в Канаде проф. Беллу, а позднее и американским исследователям Р.Макфарлану, А.Посканзеру и др. удалось лишь немного выйти за область стабильности и, тем не менее, наблюдать около двух десятков протонных излучателей^{/1,2,3/}. При дальнейшем продвижении в область нейтронодефицитных изотопов должна наблюдаться предсказанная проф. В.И.Гольданским двухпротонная радиоактивность. Для этого требуется вылет 15-20 нейтронов. Однако здесь начинает действовать жесточайший закон, знакомый всем, кто занимается синтезом ядер, далеких от области стабильности. Мы хотим уйти от этой области как можно дальше. Вместе с тем для этой цели мы используем ядерные процессы, которые хотя и протекают за 10^{-14} сек, но являются, по-существу, адиабатическими. Поэтому после вылета 6-8 нейтронов уменьшается вероятность испускания нейтронов ядром, а вероятность деления ядра или вылета из него протонов значительно возрастает. В случае нейтронодефицитных изотопов средних масс ядро пытается вернуться и, действительно, возвращается в область стабильности, испуская протоны.

В процессе синтеза трансурановых элементов велика вероятность деления, в результате которого вместо ядра, например, 100-го элемента получается два ядра с $Z = 50$. Это и приводит к тому, что при решении проблемы синтеза трансурановых элементов приходится иметь дело с катастрофически малыми сечениями. Последние опыты, проведенные в Дубне, показали, что, если сечение 102-го элемента, для которого синтезировано шесть изотопов, составляет 10^{-9} барн, то сечение образования 104-го элемента - только около 10^{-10} барн, а для 105-го эта величина еще меньше. Все, что можно сделать для увеличения выхода, - это либо повысить интенсивность пучка ускоренных частиц, либо увеличить время экспозиции до нескольких (или даже многих) лет. Оба эти способа линейны, а падение сечения экспоненциально. Поэтому, по нашему мнению, 105 элемент, свойства которого сейчас уточняются в Дубне, по-видимому, будет последним доступным элементом для этого метода.

Естественно возникает вопрос, есть ли выход из создавшегося положения? Занимаясь анализом возможностей, мы пришли к выводу: деление ядер – основной фактор, затрудняющий синтез новых изотопов и элементов. Попытаемся воспользоваться иногда применяющимся экспериментаторами приемом: заставим мешающий фактор работать в нашу пользу. Будем пытаться осуществлять синтез новых элементов путем деления ядер, постепенно увеличивая заряд бомбардирующего ядра. Тогда осколки деления также постепенно будут увеличивать свой заряд, и, в конце концов, в предельном случае, скажем, при облучении урана ураном можно получить изотопы далеких трансуранов. И не только трансуранов, а – попутно и все изотопы, представленные на рис. 1.

Кроме того, метод особенно перспективен для получения ядер, находящихся в изомерных состояниях различных типов.

Идея, как будто бы, бессмысленна, однако, необходимо провести опыты, которые бы показали, что же в действительности получается, сколько образуется изотопов различных элементов в процессе деления. С этой целью в течение последнего года в Дубне Ю.Ц.Оганесяном совместно с группой химиков были проведены систематические исследования продуктов деления тяжелых ядер под действием многозарядных ионов. Мы обратились вначале к работам 1956–1958 гг., когда были использованы сравнительно легкие частицы – углерод и азот и облучался уран. В этих исследованиях получалась кривая распределения с максимумом при $Z = 50$.

Возникал вопрос: что произойдет с кривой распределения, если постепенно увеличивать заряд падающей частицы? Безусловно, что максимум кривой будет смещаться, а именно, замена частицы с $Z=6$ на частицу с $Z = 22$ (титан вместо углерода) приведет к составному ядру с $Z = 114$ и деление пополам даст $Z = 57$, т.е. смещение на восемь единиц уже будет иметь место. Помимо этого, как было показано проф. В.М.Струтинским с сотрудниками, дисперсия распределения должна увеличиваться. /4,5/

На рис. 2 показано распределение осколков деления по A для случая деления урана легкой частицей с $Z=6$ и тяжелой частицей с $Z = 10$. Пунктирные кривые показывают зависимость ширины распределения от энергии возбуждения. Опыт проводился при нескольких энергиях бомбардирующих частиц. Налицо смещение максимума распределения, существенное расширение кривой и довольно слабая зависимость от энергии падающих частиц.

Эксперименты показывают, что даже, когда мы делим уран неонам, этот метод получения изотопов значительно эффективнее обычного метода, когда деление осуществляется тепловыми нейтронами. Несмотря на то, что при делении на тепловых нейтронах получаются два пика в распределении масс осколков деления, один пик осколков при делении урана ускоренными ионами неона настолько широк, что для больших A выход изотопов оказывается в тысячи и миллионы раз больше, чем при делении на нейтронах (Рис. 3).

Я упоминал о том, что и реакции передачи, и реакции слияния — это процесс адиабатический. Поэтому, синтезируя трансурановые элементы в ядерных реакциях слияния с тяжелыми ионами, мы получаем нейтронодефицитные изотопы с недостатком нескольких частиц — пяти, шести, а иногда и более. Никогда не бывает избытка, и дисперсия очень мала. Если же используется процесс деления, то за счёт того, что в этом процессе распределение по энергиям возбуждения очень сложное, дисперсия по A при данном Z также велика. Пожалуй, наибольший интерес представляет кривая, полученная в последнее время (Рис. 4). Облучая уран $Z = 92$ аргоном $Z = 18$, мы должны были получить составное ядро с $Z = 110$ и при делении пополам ядра с $Z = 55$. Однако за счёт дисперсии по Z был обнаружен полоний ($Z = 84$) и даже радий ($Z = 88$). Это означает, что в этом опыте мы почти подошли к трансурановым элементам. Опираясь на методику, основания которой были заложены еще Марией Кюри в те далекие годы, когда полоний впервые извлекался из больших масс руды, в наше время удалось изучить распределение по A для полония на большом числе изотопов, получающихся в урановой мишени, облученной ионами неона и аргона.

На следующем рисунке (Рис. 5) представлено куполообразное распределение продуктов деления для этого случая, построенное в трех измерениях по данным наших экспериментов. Здесь распределение по Z захватывает примерно 50 единиц, а для каждого данного Z получается несколько десятков изотопов. Поэтому даже в опыте, где мы используем сравнительно легкие частицы, получается около 1000 изотопов. Нет никаких сомнений, что, ускоряя более тяжелые частицы, можно получать много тысяч изотопов и в том числе изотопы далеких трансурановых элементов.

Уже упоминалось о том, что необходимо ускорять такие частицы, как криптон, ксенон, вольфрам, уран. С этой целью в настоящее время во всем мире раз-

рабатываются проекты специальных ускорителей, об одном из которых рассказывалось в докладе проф. Гиорсо. Мы в ОИЯИ выбрали путь, несколько отличающийся от того, которым идут физики в США. В настоящий момент источник ионов, работающий в Дубне, по интенсивности многозарядных ионов (7-8-зарядных) в 25 раз превосходит интенсивности, полученные в США. Вместе с тем в источниках еще не использованы все возможности. Наш источник ионов был разработан почти 20 лет назад академиком Л.А. Арцимовичем с сотрудниками для разделения изотопов, и, лишь немного изменив его параметры, удалось получить вместо однозарядных 8-12 - зарядные ионы. Есть полная уверенность, что, используя все, что дает техника, применяемая в плазменных исследованиях, мы сможем получить 14-16 - зарядные ионы. На циклотроне многозарядных ионов ОИЯИ ускоряется вольфрам, правда, пока до энергий ~ 100 Мэв. Это высокозарядный вольфрам (+10) и простое увеличение диаметра машины, не столь гигантское, как указано в докладе проф. А. Гиорсо, даст возможность получения вольфрама и урана с интенсивностями в десятки микроампер и с энергией, необходимой для осуществления нуклеосинтеза.

Работы по источнику ионов по существу сводились к попыткам "вонзать" в газовый разряд наибольшую мощность. Это делается теми, кто занимается источниками ионов и регулируемые термоядерными процессами. Нам представляется, что сравнительно недавно открылась новая возможность на этом пути. В результате развития лазерной техники удалось создать световые пучки с очень большой интенсивностью. Достаточно сказать, что лазер со средней мощностью в 1 ватт, эквивалентен импульсному источнику мощностью много сотен тысяч киловатт. Поэтому, естественно, появились мысли об использовании этих гигантских мощностей для получения высокозарядных ионов. Мощность лазера велика, однако, энергия на один квант составляет несколько электронвольт и этими квантами необходимо отрывать от атома электроны с энергией связи 100, а иногда и 1000 электронвольт. Поэтому еще год тому назад мы относились к применению лазеров не очень серьезно, пока не появились первые публикации, в которых сообщалось, что в результате облучения сверхмощными лазерами металлических пластинок получают 8-10- и даже 15-зарядные ионы таких элементов, как кальций, железо.

По-видимому, при столь больших мощностях происходит то, что физики называют коллективным воздействием с одновременным поглощением большого числа световых квантов, либо какие-то другие процессы, приводящие к возникновению электрических полей, достаточных для глубокой ионизации атомов.

Поэтому наряду с дальнейшим усовершенствованием плазменных источников необходима разработка лазерных источников. Если думать о коллективных усилиях в создании методов ускорения наиболее тяжелых ионов, то, очевидно, необходимо будет, в первую очередь, продумать возможные направления работ по усовершенствованию ионных источников.

Примером таких коллективных усилий в решении наиболее сложных задач может служить трансурановая проблема. Не владеясь в тонкости дискуссии по химии 102-го элемента, отмечу, что результаты американских ученых, по-видимому, существенно дополняют наши результаты, основанные на газовой химии. Конечно, это все будет далеко от того, что мы хотели бы знать о 102 элементе. Слово "химия" включает в себя и физико-химические и электро-химические и ряд других свойств, и оно по существу неисчерпаемо. Надеяться на то, что мы будем иметь тома, описывающие химические свойства 102 элемента подобно тому, что есть в справочнике Гмелина о других элементах, я думаю, нет оснований. Но мы можем, скажем, определить валентность, которая тоже условна. (Известно, что валентность зависит от внешних условий). С этой точки зрения мне кажется, что газовая химия — один из основных методов исследования, используемый в нашей Лаборатории (методом газовой химии изучались свойства и 102, и 104 элементов) — представляет собой уже большой шаг вперед ^{18,7/}.

Возникает вопрос о правомерности определения физико-химических свойств для отдельных атомов. Надо сказать, что когда мы начинали опыты по химии 104 элемента, мы исходили из того, что у хлористых соединений 104 элемента и хлоридов гафния будут аналогичные свойства. В учебниках мы нашли для соединения гафния данные о давлении паров в зависимости от температуры.

Но как применить это понятие к одному атому? Получилась очень трудная ситуация. Однако оказалось, что для одного атома имеется соответствующая физическая аналогия. Если один атом многократно сталкивается с поверхностью, либо в ионообменной [↓]колонке садится на смолу и снова уходит, то число актов адсорбции и десорбции очень велико, и тогда вместо давления паров вводится понятие среднего времени, в течение которого этот атом сидит на поверхности.

Это понятие законно, и у нас нет никаких сомнений, что поведение одного атома будет совпадать с тем, как вел бы себя большой комплекс атомов, если нет взаимодействия между ними. Но взаимодействие необходимо учитывать лишь для весовых количеств, поэтому если мы считаем химию законной для сотен тысяч атомов, то она столь же законна для одного атома.

Мне кажется, что в той дискуссии, которая, я надеюсь, еще не долго будет продолжаться, это противопоставление химии и физики очень искусственно. Дело в том, что если мы подойдем к элементам, которые живут, скажем, миллионные доли секунды, то ни газовая, ни жидкая химия ничего не дадут. Вместе с тем за эти времена ядра будут захватывать K -электроны, и изучение рентгеновских лучей, по-существу, даст столь же надежные данные о Z как, скажем, это получается в результате ~~хроматографического~~ изучения элемента.

Специального рассмотрения требует также вопрос об определении массового числа новых изотопов. В последнее время при синтезе короткоживущих ядер использовались методы так называемой физической идентификации. В этих методах идентификация продуктов реакций по массовому числу производилась, например, по функции возбуждения данной реакции, т.е. по выходу исследуемого продукта в зависимости от энергии бомбардирующих частиц. Однако эти методы косвенной идентификации не всегда дают однозначный результат. Прямой ответ на вопрос о массовом числе изотопа можно получить, если использовать масс-спектрометр или масс-сепаратор. Однако это должен быть не обычный вариант прибора, а быстродействующий, позволяющий работать с очень короткоживущими ядрами. В настоящее время, как вам известно, такие инструменты создаются в ряде лабораторий. Их главная особенность состоит в том, что продукты ядерных реакций должны быстро отделяться от мишеней и быстро транспортироваться в ионный источник непрерывно работающего масс-сепаратора. Регистрация распада сепарированных изотопов осуществляется тут же в сепараторе. Такой быстродействующий сепаратор в линии с циклотроном тяжелых ионов создается в Дубне.

Надо сказать, что пока успех или не успех по синтезу изотопов во многих случаях определяется интенсивностью пучка, изотопной чистотой мишеней и отсутствием в ней примесей, таких как свинец. К сожалению, первые опыты по синтезу элементов 102 и 103 не удовлетворяли этим условиям ни в США, ни в Швеции, ни в Советском Союзе. Тогда не было одноизотопных мишеней,

поэтому полученные данные можно было приписать тому или иному изотопу. В частности, изотоп, который синтезировался в шведской работе, за эти 10 лет "принимал" пять значений массового числа от 251 до 255, и потребовалась многолетняя работа в Дубне по синтезу и исследованию шести изотопов 102 элемента для того, чтобы не оставить места для новых и новых гипотез упорствующих авторов /8/ .

Второе обстоятельство оказалось также существенным. В начальной стадии экспериментов на тяжелых ионах не было ясно, что очень опасной примесью будет свинец. Выход аналогичных альфа-излучателей на свинце в миллион раз больше выхода далеких трансурановых элементов, получающихся при облучении плутония, юрия или калифорния. Поэтому очистка мишеней от свинца абсолютно необходима. Эта задача оказалась очень тяжелой, поскольку в химических и физических научных лабораториях много свинца. Лаборатории насыщены свинцом: пайка производится свинцовым припоем, у кабелей - свинцовые оболочки, защита делается на свинце и т.д.

По-видимому, нам удалось доказать, что в шведской работе был не 102 элемент, а продукт облучения свинца, т.е. изотоп 88 элемента, либо продукт реакции срыва или деления с $Z = 90$.

Работы по синтезу 105 элемента также во многом зависят от чистоты мишеней - в них допустимо крайне малое содержание свинца.

Второй подход - это создание таких условий, когда даже один случай распада настолько надежен, что не допускает противоречивых толкований и при этом никакие фоны не сказываются. В нашей работе по элементу 105 мы идем обоими путями: с одной стороны, мы тщательно очищаем мишени от свинца, а с другой - стараемся на акт α - распада получить максимальную информацию, которая абсолютно исключает возможность проявления каких-нибудь мешающих факторов (метод амплитудно-временных корреляций).

Молодые участники работы по 105 элементу одно время считали, что она завершена. Однако те сложности, которые были со 102 элементом, а также трудности, выявившиеся в работах по 103 элементу (наши результаты находятся в противоречии с тем, что было опубликовано в 1961 году американскими исследователями), приводят нас к заключению, что следует продолжить исследование, хотя информация по 105 элементу, которой мы располагаем, надежнее данных, полученных первоначально по 102 и 103 элементам.

Не знаю, удалось ли мне показать состояние проблемы в настоящем и будущем. По-видимому, в прошлом было очень много скоропалительных выводов. Это потребовало дополнительного десятилетнего труда, и мне кажется, что теперь нам нужно больше думать о настоящем и будущем. Поэтому я не давал подробного анализа работ периода 50-х -начала 60-х годов.

Если же вспомнить о прошлом, то только о далеком, а именно - о героических усилиях, сделанных Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри, когда они открывали новые элементы. Надо сказать, что тогда новые элементы открывались в условиях полного отсутствия данных об их химических свойствах без применения каких-либо сложных (с нашей точки зрения) методик, но при очень требовательном отношении к собственным результатам и глубоком анализе получаемых данных. Поэтому ни в одной из работ супругов Кюри, по существу, нет случаев, сколько-нибудь похожих на ситуацию, создавшуюся с открытием 102 и 103 элементов, которая, как мы надеемся, не будет иметь повторений в будущем.

Позвольте мне в заключение выразить надежду, что задача нуклеосинтеза и исследования многих новых элементов и изотопов будет успешно решена на основе объединенных усилий ученых разных стран.

Л и т е р а т у р а

1. В.А.Карнаухов, Г.М.Тер-Акопян, В.Г.Субботин. Препринт ОИЯИ, Р-1072, 1983.
2. A.M.Paskanser, R.M.Pherson, K.A.Esterlund R.L.Reeder: Rept 10362, 1962.
3. R.Barton, R.Mc.Pherson, R.E. Bell, W.R.Trisken, W.T.Link and R.B. Moore, Can. Journal of Physics 41, 2007 (1963).
4. Ю.А.Музыка, Ю.Ш.Оганесян, Б.И.Пустыльник, Г.Н.Флеров. ЯФ, 6, 306, 1967.
5. В.М.Струтинский, ЯФ, 1, 821, 1965 г.
6. И.Звара, Т.С.Зварова, Р.Шалетка, Ю.Т.Чубурков, М.Р.Шалаевский. Препринт ОИЯИ Р-2548, Дубна, 1966.
7. И.Звара, Т.С.Зварова, Р.Шалетка, Ю.Т.Чубурков, М.Р.Шалаевский. Радиохимия 9, 2, 1967.
8. Г.Н.Флеров. Препринт ОИЯИ Д7-3444, 1967 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 декабря 1967 года.

Z

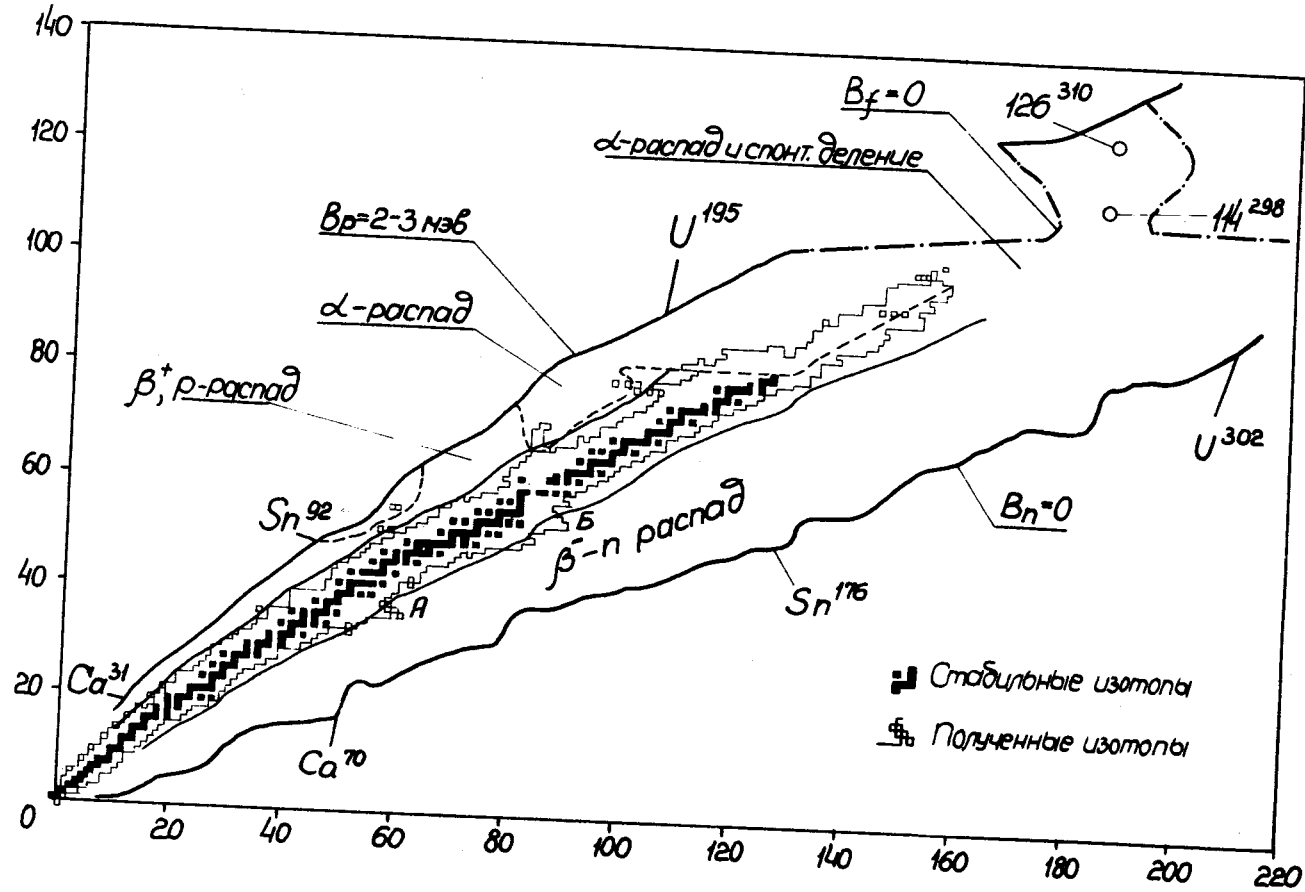


Рис. 1.

N

14

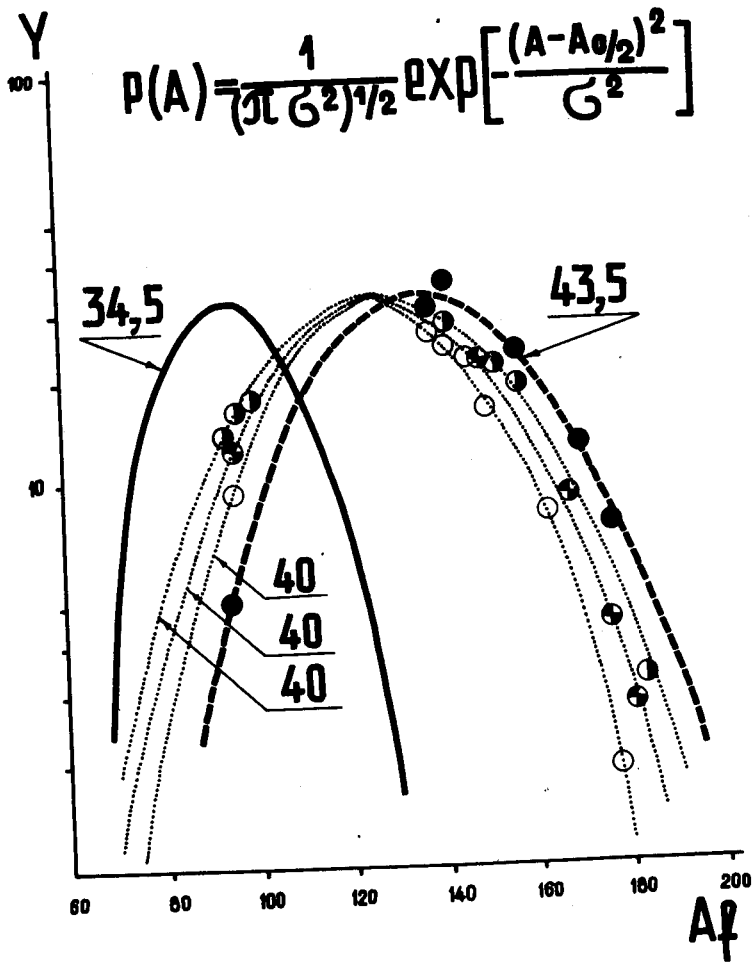


Рис. 2.

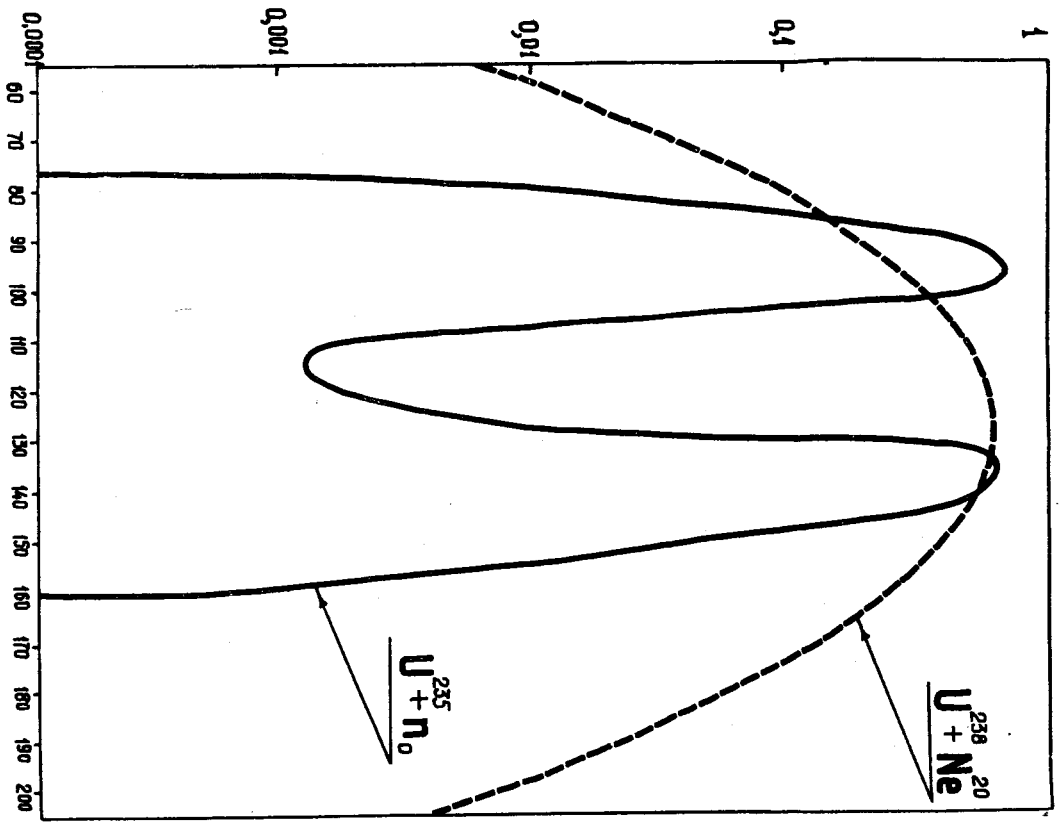


Fig. 3.

Z

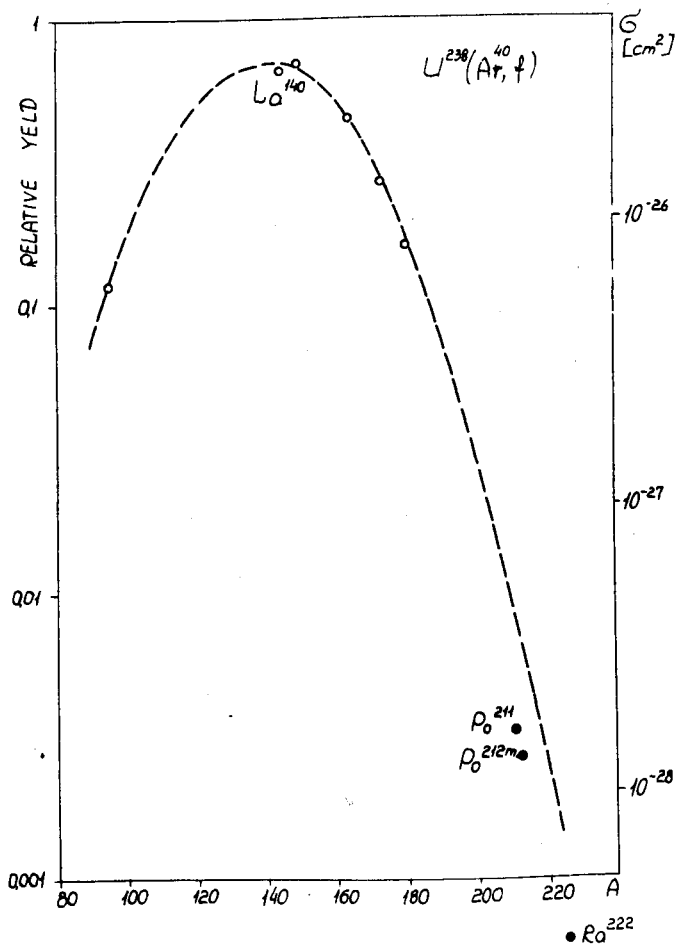


Рис. 4.

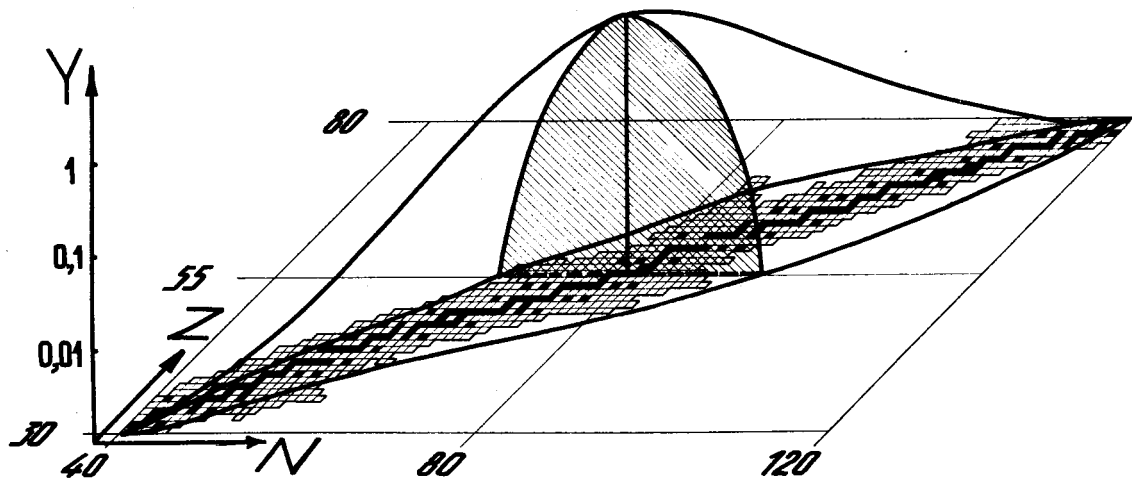


Рис. 5.