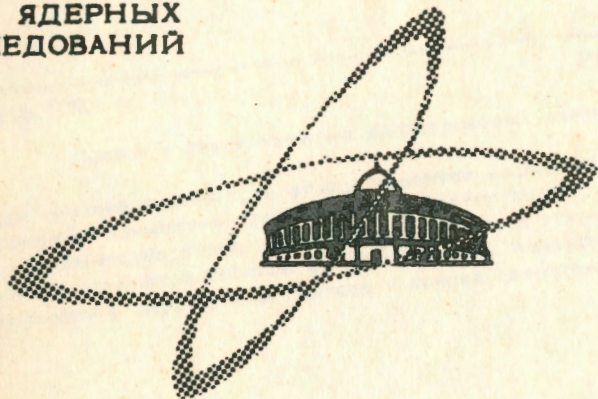


ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАДА



P15 - 4891

Г.Н. Флеров

СИНТЕЗ И ПОИСК  
ТЯЖЕЛЫХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

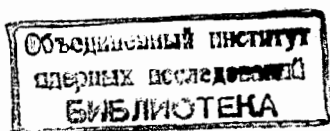
1970

P15 - 4891

Г.Н. Флеров

**СИНТЕЗ И ПОИСК  
ТЯЖЕЛЫХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Направлено в АЭ, а также в Оргкомитет Юбилейного  
X Менделеевского съезда по общей и прикладной химии.



1969 год был юбилейным менделеевским годом. Во многих странах мира прошли международные конференции, посвященные столетию открытия Периодического закона гениальным русским химиком Д.И. Менделеевым.

Менделеев принадлежит не только химикам. Опираясь на периодический закон, позволяющий систематизировать все многообразие физико-химических свойств отдельных элементов и их соединений, физическая наука смогла подойти к изучению сокровеннейших тайн строения вещества.

Пример той важной роли, которую играет периодический закон в исследовании строения вещества, — синтез и идентификация ряда трансурановых элементов, от нептуния до менделевия, законченные в США к 1955 году. Этот первый период истории трансуранов связан с развитием ядерной техники. Элементы  $Np - Fm$  были синтезированы с помощью реакций многократного захвата нейтронов в интенсивных нейтронных потоках реакторов и ядерных взрывов. При таком методе синтеза продукты реакций оказываются перемешанными друг с другом и с исходным веществом, поэтому неизбежно химическое выделение элементов, которые интересуют экспериментаторов. Успех этих исследований во многом определен аналогией химических свойств, которая

существует у семейств актинидов и лантанидов. Эта аналогия составляет существо так называемой актинидной гипотезы, позволившей Г.Т.Сиборгу и его сотрудникам разобраться в сложной смеси элементов и изотопов, синтезируемых в реакторах и взрывах. Неудивительно поэтому, что пионерами в открытии целой серии трансураниевых элементов оказались специалисты в области радиохимии - Г.Т.Сиборг, С.Г.Томпсон и др.

Следует отметить, что в этот период, несмотря на новизну и сложность многих аспектов самой проблемы и применявшейся экспериментальной методики, которая зачастую создавалась самими авторами для решения возникавших задач, несмотря на огромное количество полученной информации, практически не было допущено серьезных ошибок. Отдельные неточности быстро обнаруживались и исправлялись.

Однако при попытках продвинуться дальше в область тяжелых ядер ( $Z > 101$ ) выявился целый ряд объективных трудностей, все более и более усложняющих синтез, идентификацию и изучение свойств новых элементов. Главные из них - резкое уменьшение времени жизни синтезируемых элементов, а также уменьшение вероятности их образования в реакциях по мере увеличения атомного номера. Рис. 1 дает общее представление о зависимости периода полураспада от атомного номера элемента в области Cf - Ku.

Классическая методика химической идентификации, основанная на процессах, протекающих в жидкой фазе, требует определенного времени для выделения новых элементов (порядка 1 минуты от момента синтеза); за это время сравнительно короткоживущие изотопы практически полностью распадаются. Поэтому менделевий оказался последним элементом, идентифицированным классическим методом химического разделения в

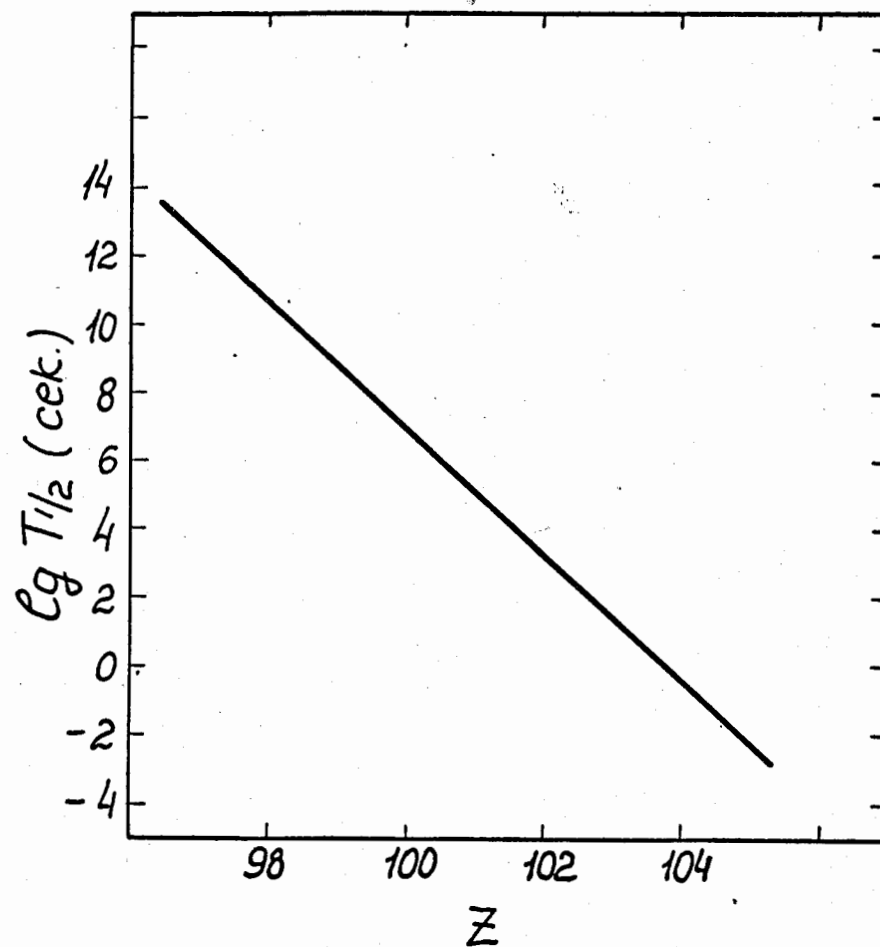


Рис. 1. Уменьшение времени жизни элементов с увеличением атомного номера.

жидкой фазе<sup>x/</sup>. Необходимо было найти новые методы синтеза тяжелых трансурановых элементов.

Второй период исследований в трансурановой области связан с идеей использовать для синтеза новых элементов ускоренные тяжелые ионы вместо нейтронов. Предполагалось, что новые ядра будут образовываться при слиянии ядер углерода, кислорода, неона и т.д., ускоренных до необходимой энергии, с ядрами тяжелых элементов (уран, плутоний, америций и т.д.).

По инициативе академика И.В.Курчатова в 1954 году в Москве была начата разработка проекта ускорителя тяжелых ионов, предназначенного для синтеза новых элементов и их изотопов и изучения ядерных реакций. Одновременно с проектированием на обычном циклотроне У-150 были начаты работы по получению и ускорению многозарядных ионов и первые эксперименты с ускоренными ионами углерода, азота, кислорода.

Ускоритель многозарядных ионов был построен в Дубне к 1960 г.

Кроме того, что появилась возможность увеличить заряд ядра сразу на несколько единиц, реакции с тяжелыми ионами позволяли значительно сократить время, необходимое для выделения новых ядер и их идентификации. Явление отдачи, возникающей при слиянии тяжелого иона с ядром мишени, а также техника экспрессной регистрации  $\alpha$ -распада и спонтанного деления, обеспечивающие достаточно низкий фон, составляют основу физических методов идентификации и позволяют в принципе довести это время до  $10^{-8}$  сек.

Время, необходимое для химической идентификации элемента, удалось существенно уменьшить за счёт перехода к химии в газовой фазе. Выбитые из мишени ядра отдачи попадали непосредственно в активную

<sup>x/</sup> После того как в Дубне было проведено систематическое изучение свойств 6 изотопов 102 элемента <sup>11-7/</sup>, выяснилось, что изотоп <sup>253</sup>102 имеет период полураспада 3 минуты и может быть изучен с помощью ионного обмена.

газовую среду. Так как химические реакции и транспортировку при работе с газами можно осуществить значительно быстрее, чем при работе с жидкой средой, то, используя специальную, довольно сложную технику <sup>/8-10/</sup>, можно разделять и успешно регистрировать продукты ядерных реакций, имеющие времена жизни порядка десятых долей секунды.

Метод отдачи позволяет также применять для идентификации новых ядер масс-сепараторы, работающие в режиме "on-line" с ускорителем, что открывает широчайшие возможности для изучения короткоживущих ядер, далеких от областей стабильности. В Дубне Н.И. Тарантиным и др. разработан масс-сепаратор нового типа, который позволяет уменьшить время разделения до  $10^{-3}$  сек <sup>/11/</sup>.

Другую трудность - уменьшение выхода реакций с увеличением атомного номера ядер-продуктов - преодолеть значительно сложнее. Вероятность образования тяжелых трансурановых элементов в реакциях, проходящих через стадию образования составного ядра с последующим испарением нескольких нейтронов, уменьшается, грубо говоря, в 10 и более раз при увеличении  $Z$  на единицу. Трудности усугубляются также тем, что выход многочисленных реакций, приводящих к фоновым продуктам, при этом практически не уменьшается. Это предъявляет чрезвычайно высокие требования к селективности как химических, так и физических методов идентификации.

С помощью ускоренных тяжелых ионов были синтезированы элементы 102, 103, 104 и получены первые атомы 105 элемента. Однако перечисленные выше объективные трудности, а, возможно, и некоторые субъективные обстоятельства привели к тому, что история открытия и изучения свойств этих элементов оказалась историей ошибок и споров.

Первые попытки синтезировать и идентифицировать 102 элемент относятся к 1955 г. В совместной работе американских, английских и шведских авторов <sup>/12/</sup> сообщалось, что синтезировано 20 атомов 102 элемента с массовым числом 253 или 251, испытывающих  $\alpha$ -распад с  $T_{1/2} = 10$  мин. Позднее эта работа была признана ошибочной <sup>/13/</sup>.

Вскоре появилось еще несколько работ по 102 элементу /14-17/, однако они также содержали ряд ошибок.

102 элемент был впервые надежно идентифицирован в Дубне (изотоп  $^{256}\text{102}$ ) /1/. В ряде последующих работ /2-7/ этот результат был подтвержден и, кроме того, было проведено систематическое исследование свойств шести изотопов 102 элемента. В итоге стали также ясны источники ошибок, допущенных в первых неудачных работах /12-17/.

История открытия 103 элемента также оказалась довольно сложной. В 1961 году А. Гиорсо и др. в Беркли (США) объявили об открытии нового элемента с порядковым номером 103 (изотоп с массовым числом 257) и дали ему название "лоуренсий" /18,19/. В этой работе, однако, не было проведено анализа возможных ошибок и фонов. В дальнейшем эксперименты, выполненные в Дубне /20-24/, показали, что она была ошибочной.

В 1965 г. группа экспериментаторов в Дубне однозначно установила, что в реакции  $^{243}\text{Am} + ^{18}\text{O}$  образуется изотоп  $^{256}\text{103}$  /20/. К настоящему времени в Дубне открыто и изучено три изотопа 103 элемента с массовыми числами 255, 256, 257 /20-24/. Тщательные поиски изотопа элемента 103 с характеристиками, приведенными американскими авторами, дали отрицательный результат /21/.

После опубликования экспериментальных данных по 103 элементу, полученных в Дубне, А. Гиорсо еще раз проанализировал свои результаты и изменил их первоначальную интерпретацию, не приводя при этом никаких новых экспериментальных доказательств. Он сообщил /19/, что в их первой работе /18/, по-видимому, наблюдался не  $^{257}\text{103}$ , а один из более тяжелых изотопов:  $^{258}\text{103}$  или  $^{259}\text{103}$ . Детальный анализ показывает /23,24/, что такая интерпретация находится в противоречии с экспериментальными данными, приведенными А. Гиорсо и др. в статье 1961 г. /18/, и должна быть признана неприемлемой.

История заполнения "пустых мест" в таблице Менделеева свидетельствует о том, что во всех случаях авторы работ, результаты которых подвергались сомнению, проводили дополнительные опыты и либо доказывали свою правоту, либо отказывались от ошибочных утверждений. В данном случае группа в Беркли, к сожалению, не пошла по этому пути.

Группа химиков в Дубне изучила поведение хлоридов 103 элемента на примере изотопа  $^{256}\text{103}$  и доказала его принадлежность к семейству актинидов /25/. Результаты дубненских работ по изотопу  $^{256}\text{103}$  были полностью подтверждены в Беркли /26/.

Ярким примером исследования, проведенного в предельных по чувствительности и экспрессности условиях, является открытие 104 элемента и изучение его физических и химических свойств.

В 1964 году в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ при облучении  $^{242}\text{Pu}$  ускоренными ионами  $^{22}\text{Ne}$  были синтезированы ядра, испытывающие спонтанное деление с периодом полураспада, который был приблизительно оценен в 0,2-0,4 сек. Спонтанное деление нового излучателя наблюдалось на фоне распада спонтанно делящихся изомеров и других активностей, которые образуются в реакции  $\text{Pu} + \text{Ne}$  в существенных количествах, поэтому в первой работе не удалось измерить период полураспада точнее. Трудности, с которыми столкнулись экспериментаторы, иллюстрируют следующие цифры: при максимальной интенсивности потока ускоренных ионов неона (десятки микроампер ионного тока) наблюдавшийся выход составлял приблизительно один атом в час. Однако несмотря на все эти трудности анализ формы функции возбуждения для обнаруженного излучателя и результаты контрольных опытов позволили авторам работы сделать заключение, что синтезированный изотоп является одним из изотопов 104 элемента и имеет массовое число, по всей вероятности, 260 /27/.

Для установления факта синтеза нового элемента важнейшее значение имеет его химическая идентификация. Поэтому в Дубне были проведены дальнейшие эксперименты по синтезу 104 элемента с применением экспрессного разделения в газовой фазе /8,9/. В результате независимым химическим методом было установлено, что при облучении  $^{242}\text{Pu}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$  образуются изотопы 104 элемента, испытывающие спонтанное деление с периодом полураспада в несколько десятых долей секунды. Здесь следует отметить, однако, что в химических опытах изотопы не могли разделяться. Это означает, что наряду с короткоживущими изотопами курчатовия в опытах, возможно, присутствовали и более долгоживущие, вклад которых мог дать наблюдаемую кривую распада.

В 1967 году опыты по химической идентификации были повторены с усовершенствованной методикой /10/. Результаты подтвердили сделанный в первой работе вывод о принадлежности курчатовия к IV группе Периодической системы элементов.

Авторы физической и химической работ предложили для нового элемента название "курчатовий" ( $\text{Ku}$ ) в честь выдающегося советского физика Игоря Васильевича Курчатова.

Однако история 104 элемента на этом не закончилась. Через 5 лет после первых дубненских работ А. Гиорсо и его коллеги сообщили о синтезе трех  $\alpha$ -радиоактивных изотопов элемента 104 с массовыми числами 257, 259, 261 и периодами полураспада 4,5; 3 и 60 сек соответственно /28,29/. В этих экспериментах мишень из  $^{249}\text{Cf}$  облучалась ускоренными ионами  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$ . Для идентификации и определения характеристик изотопов анализировались  $\alpha$ -спектры продуктов реакций. Выводы о свойствах изотопов 104 элемента, которые можно сделать на основании результатов этой работы, в основном подтверждают результаты первой работы по 104 элементу, выполненной в Дубне /27/. Однако А. Гиор-

со и др. стремятся найти и, по их мнению, находят существенные противоречия и пытаются подвергнуть сомнению результаты дубненских работ.

Следует отметить, что первичные  $\alpha$ -спектры в работах по синтезу тяжелых трансурановых элементов практически всегда бывают в той или иной степени искажены  $\alpha$ -активностями, которые образуются в ходе облучения на неизбежных примесях свинца в мишени и по характеристикам близки к тому, что ожидается для 104 элемента /16,30/. Тем не менее А. Гиорсо и др. вообще не обсуждают этот вопрос, хотя в приводимых ими спектрах явно присутствуют линии, обязанные своим происхождением именно примесям свинца (рис. 2).

Анализ спектров и периодов полураспада для отдельных линий выявляет в работе А. Гиорсо и др. /28/ ряд несоответствий и, по-видимому, просто ошибок и заставляет сомневаться в правильности определения характеристик  $\alpha$ -активных изотопов 104 элемента. Совершенно очевидно, что авторам работы /28/ необходимо повторить эксперименты в более "чистых" условиях. Пока же остается заключить, что в опытах по синтезу  $\alpha$ -активных изотопов 104 элемента группа в Беркли не смогла избежать ошибок.

В последнее время в Дубне для синтеза и идентификации 105 элемента была усовершенствована методика, применявшаяся в первых опытах по физической идентификации элемента 104. Значительно снижен нейтронный фон вблизи детекторов в результате перехода к опытам на выведенном пучке циклотрона (опыты 1964 года по 104 элементу проводились на внутреннем пучке). Кроме того, за счет использования особенностей в угловых распределениях продуктов различных реакций /31,32/ удалось осуществить хорошую сепарацию ядер отдачи, вылетающих из мишени. Спецификой ядерных реакций с тяжелыми ионами является острый максимум в угловом распределении ядер отдачи у тех реакций,



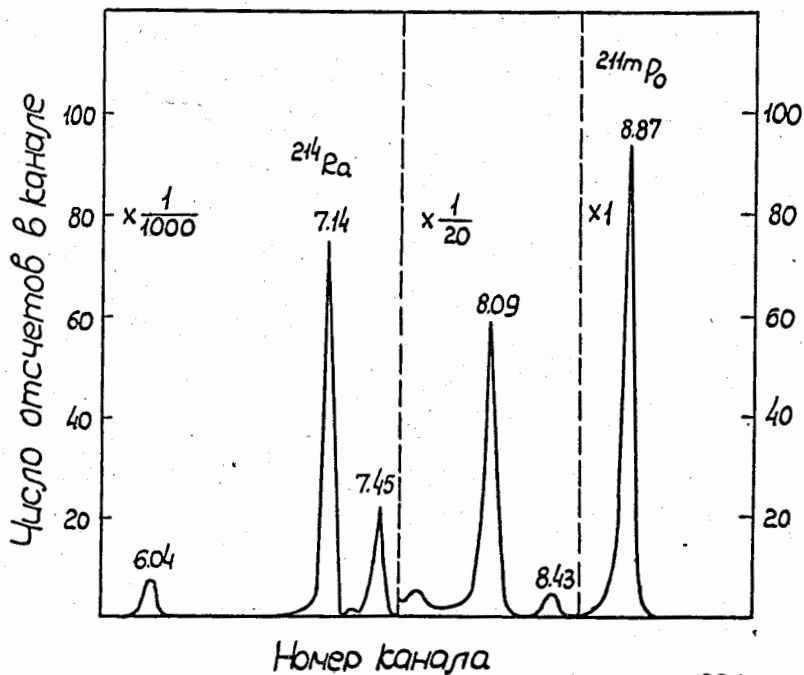
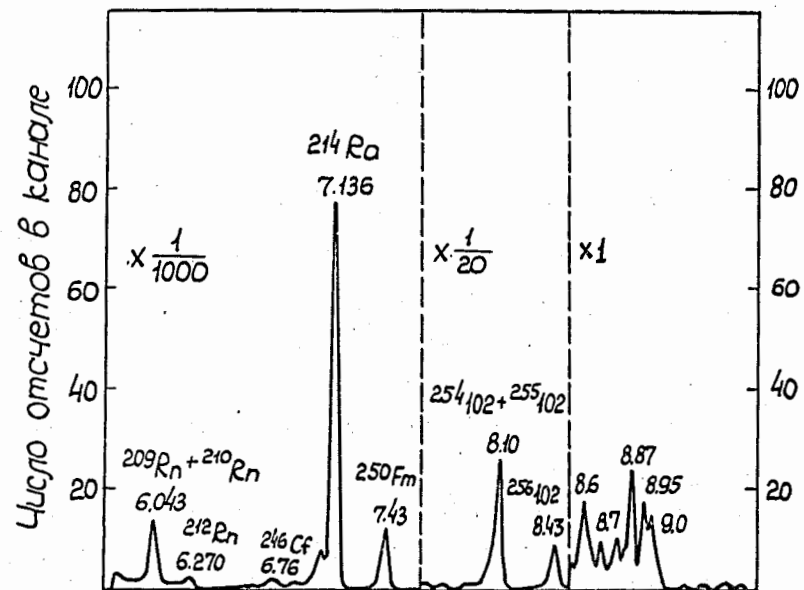


Рис. 2. Спектры  $\alpha$ -активных продуктов реакций  $^{249}\text{Cf} + ^{12}\text{C}$  /28/ (верхний) и  $\text{Rb} + ^{12}\text{C} /30/$  (нижний).

которые протекают через стадию составного ядра (105 элемент должен образовываться в реакции именно такого типа). В реакциях других типов угловой разброс конечных ядер существенно больше. Вводя подходящую коллимацию, можно отделить ядра 105 элемента от значительной части других продуктов реакций.

Методика была испытана в новой серии опытов по синтезу спонтанно делящегося изотопа 104 элемента, наблюдавшегося ранее в реакции  $^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$ . Изменяя степень коллимации, экспериментаторы изучили интегральное угловое распределение ядер этого изотопа и показали, что оно действительно соответствует реакции, проходящей через стадию образования составного ядра (рис. 3). Тщательный анализ результатов привел авторов к выводу о том, что исследуемый излучатель образуется в реакции полного слияния ядер  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с последующим испарением нескольких нейтронов и принадлежит, следовательно, курчатовию /32/. Естественно, коллимационный метод не дает возможности уточнить массовое число изотопа, но он позволил существенно уменьшить фон посторонних делящихся продуктов и уточнить период полураспада курчатовия, который оказался равным  $0,1 \pm 0,05$  сек.

Все вышеизложенное дает основание заключить, что факт синтеза 104 элемента и наблюдения его распада был впервые установлен в Дубне в 1964 г. /27/. Это подтверждено опытами, использующими метод газовой хроматографии, в 1966 и 1967 гг. /8-10/ и экспериментами по изучению угловых распределений продуктов реакций в 1969 г. /32/.

Таким образом, Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ в Дубне, где коллектив ученых социалистических стран ведет исследования по трансурановым элементам, насчитывает в своем активе открытие трех тяжелейших элементов: 102, 103 и 104. Предварительно данные по элементу 105, полученные в 1968 г., сейчас проверяются коллимационным методом.



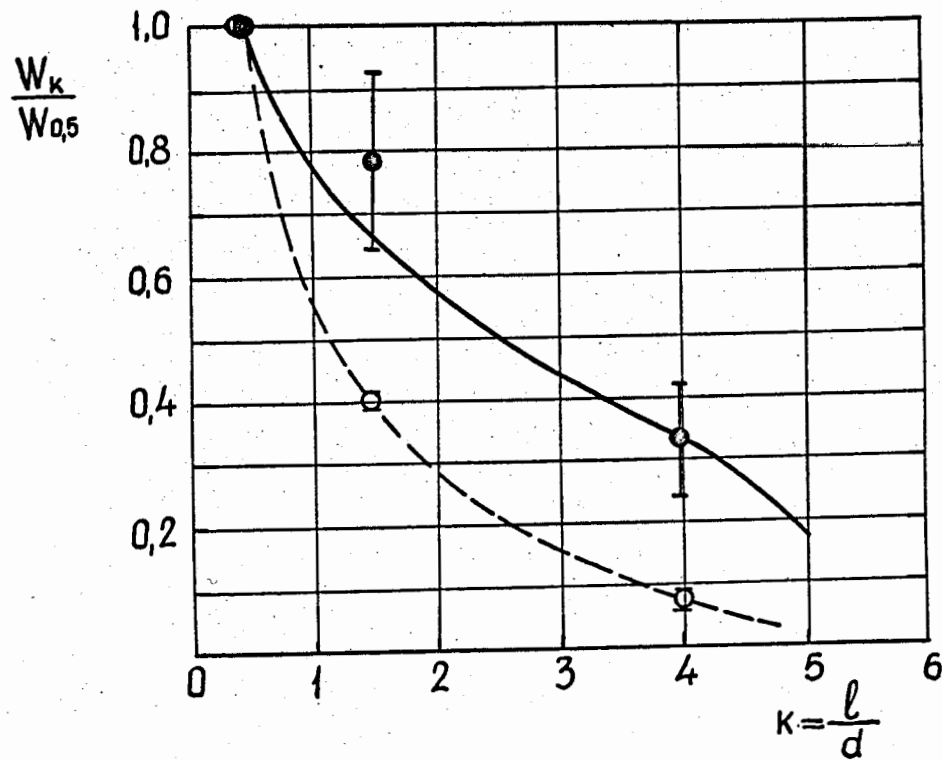


Рис. 3. Угловое распределение ядер курчатовия ( $T_{1/2} = 0,1$  сек), синтезированных в реакции  $^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$  (черные кружки). Для сравнения приведено угловое распределение спонтанно делящегося изомера америция из реакции  $^{242}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{242\text{m}}\text{Am}$ . По горизонтальной оси - отношение глубины коллиматора  $l$  к диаметру отверстий  $d$ .

В настоящее время начался третий период в истории трансуранов - синтез и поиск сверхтяжелых элементов с порядковым номером  $Z = 110-126$ . Для этого физикам пришлось преодолеть своеобразный психологический барьер, созданный под впечатлением катастрофического уменьшения периодов полураспада новых синтезируемых элементов и сечений реакций их образования. Кроме того, до недавнего времени мы не умели ускорять ионы, достаточно тяжелые для того, чтобы возникла мысль попытаться скачком продвинуться в новую область  $x/$ . Тенденция сечений образования и периодов полураспада тяжелых элементов быстро уменьшаться по мере роста атомного номера оставляет, тем не менее, надежду, достаточно реальную на сегодняшний день. Речь идет о повышенной устойчивости нуклидов, расположенных вблизи ядер с замкнутыми оболочками (ядра с "магическими" числами протонов или нейтронов). В трансурановой области мы уже имеем один подобный пример: так называемая подоболочка при числе нейтронов в ядре  $N = 152$ . Подоболочки возникают в деформированных ядрах в результате разрежения энергетических уровней вблизи границы Ферми и также придают ядрам дополнительную устойчивость. Подоболочка  $N = 152$  обнаружена при систематическом изучении свойств элементов 96-102. Именно благодаря ее влиянию времена жизни некоторых изотопов 102 элемента оказались порядка минуты.

В последнее время вопросу о существовании более далеких магических чисел протонов и нейтронов уделяется большое внимание, особенно в связи с предсказываемой многими авторами новой областью относительной стабильности вблизи  $Z = 110-126, N = 184$  <sup>/34-36/</sup>. Результаты многочисленных расчетов приводят к выводу о том, что возможно существование сверхтяжелых ядер, достаточно стабильных для экспериментального изучения.

$x/$  Только Уилер имел смелость еще в 1955 г. предсказать на основе общих представлений о свойствах ядер существование ядерно-стабильных систем нуклонов с массой вплоть до 800 <sup>/33/</sup>.

П. Фаулер, изучая элементный состав космических лучей с помощью ядерных фотоэмульсий, обнаружил в 1967 году в фотоэмульсиях следы, которые могли оставить ядра с зарядом  $Z = 103-110$  <sup>/37/</sup>. Для окончательного вывода о величине заряда этих, по предположению, сверхтяжелых ядер нужны дальнейшие исследования, но уже сама постановка вопроса о существовании в природе ядер тяжелее урана коренным образом изменила ситуацию в области исследования далеких трансурановых элементов. Наряду с синтезом стали проводиться поиски сверхтяжелых элементов в природных материалах.

Результаты целого ряда исследований, проведенных в Дубне в этом направлении, дают определенные основания предполагать, что в земной коре существует долгоживущий спонтанно делящийся излучатель. Первоначально было установлено, что в диэлектрических средах, находившихся в контакте со свинцом, а также в некоторых образцах свинцовых стекол наблюдаются следы осколков спонтанного деления, которое не может быть приписано свинцу <sup>/38/</sup>. Авторы работы предположили, что наблюдаемый эффект обусловлен спонтанным делением тяжелого химического элемента, возможно, аналога свинца или другого сопутствующего свинцу элемента. Если период полураспада этого излучателя больше  $10^8$  лет, то его содержание в образцах должно составлять по крайней мере  $10^{-12}-10^{-13}$  г/г, чтобы вызвать наблюдаемый эффект. Согласно современным представлениям о структуре таблицы Менделеева в области далеких трансуранов, порядковый номер экасвинца - 114.

В последнее время эти результаты были проверены в Дубне новым методом <sup>/39/</sup>. Осколки спонтанного деления регистрировались большими пропорциональными счетчиками (рис. 4) с весьма низким собственным фоном (1 отсчет за 30 суток). Эта методика, в отличие от применявшейся ранее методики диэлектрических детекторов, позволяет вести поиск спонтанного деления практически в любых минералах и соединениях.

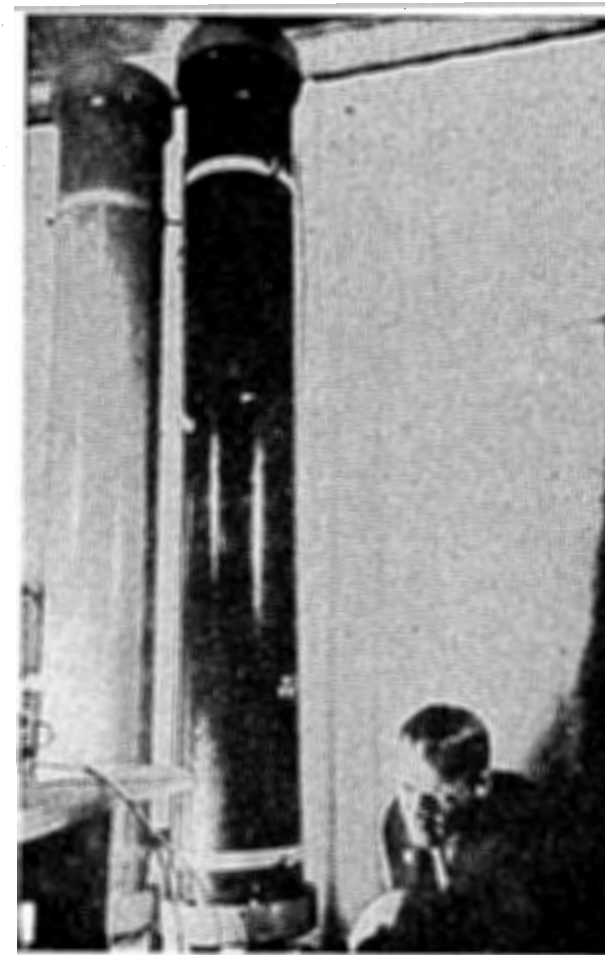


Рис.4. Большие пропорциональные счетчики, применяемые для поиска сверхтяжелых трансурановых элементов.

Для этой цели исследуемые образцы измельчались до состояния "пудры" и без предварительной химической обработки помещались в счетчик. Результаты измерений, проведенных с двумя различными образцами свинцовых стекол, совпадают с данными, полученными для этих стекол методом счета следов, оставленных осколками спонтанного деления в стекле /38/. Вопросам фона в этих экспериментах уделялось особое внимание. Источниками фона как в стеклянных детекторах, так и в счетчиках могут быть деление примесей урана или деление свинца под действием космических лучей. Активационный анализ на содержание урана и специальный эксперимент со свинцом, полученным при помощи электромагнитного разделения (изотоп 208), показали, что общий вклад фона не превышает 10-15% числа наблюдаемых событий.

Исследование большого количества образцов, содержащих висмут, ртуть, вольфрам, показало, что в этих случаях наблюдаемый эффект в десятки и сотни раз меньше и не выходит за пределы фона /40/.

В такой ситуации, естественно, следует пытаться найти в земной коре минерал, наиболее обогащенный исследуемым излучателем. В этом направлении у нас получены предварительные результаты. В опытах с некоторыми образцами свинцовых минералов наблюдается положительный эффект /39/, сравнимый с результатами, полученными на свинцовых стеклах.

Прайс и др. в США пытались наблюдать следы осколков деления сверхтяжелых аналогов свинца и золота в хардистоните и золотоносном песке, имеющих возраст в несколько сотен миллионов лет. Результаты опытов отрицательные /41/. Это обстоятельство авторы трактуют как опровержение результатов дубненских опытов по поиску сверхтяжелых элементов. По нашему мнению, такой вывод является преждевременным, поскольку не исключено, что в образцах Прайса могли иметь место процессы, приводящие к исчезновению следов осколков спонтанного деления.

Весьма важным экспериментом будет измерение числа  $\nu$  (число нейтронов на акт деления) этого излучателя. Возможно, оно окажется значительно больше, чем у всех известных ядер, испытывающих спонтанное деление. Согласно теоретическим предсказаниям, для 114 элемента не исключено значение  $\nu = 10^{42}$ . Однако ввиду малой величины наблюдаемого эффекта задача эта весьма сложная. Требования к фоновым условиям еще более жесткие, чем в опытах с пропорциональными счетчиками.

Эксперимент по измерению числа  $\nu$  для естественного спонтанно делящегося излучателя в настоящее время проводится в Дубне. Для этого создан детектор нейтронов на основе пропорциональных счетчиков, наполненных гелием-3. Основная трудность эксперимента определяется нейтронным фоном, который создается космическими лучами. Несмотря на мощную бетонную защиту, в которую была помещена установка, фон, связанный с проникающими  $\mu$ -мезонами космических лучей, превышает ожидаемый счет нейтронов в несколько раз. В настоящее время эксперименты с образцами свинцовых руд и стекол, содержащих примесь нового природного спонтанно-делящегося излучателя, проводятся в шахтах с тем, чтобы снизить фон от космических частиц.

Экспериментальное достижение области сверхтяжелых трансурановых элементов (синтез на ускорителях) окажется, по-видимому, нелегкой задачей. Необходимо разработать новые способы регистрации и идентификации сверхтяжелых ядер; нужно ускорить новые, более тяжелые частицы (наиболее тяжелая из частиц, используемых в настоящее время для синтеза, - аргон). Однако уже ионы аргона и кальция дают возможность пытаться синтезировать некоторые изотопы 114 элемента в реакциях, идущих через стадию образования составного ядра с последующим испарением нескольких нейтронов. Правда, продуктами при этом будут ядра нейтронодефицитные и значительно удаленные от предполага-

емой нейтронной оболочки  $N = 184$ . Реакция  $Pu + Zr \rightarrow "124"$  представляется более обещающей, т.к. позволяет приблизиться к этой оболочке, оставаясь в то же время по числу протонов в пределах предсказываемой области относительной стабильности <sup>/43/</sup>.

Перспективным методом синтеза может оказаться деление <sup>/44,36/</sup>. Процесс деления ядер приводит к продуктам, распределенным в широком диапазоне зарядов и масс. Систематические исследования зарядовых и массовых распределений осколков деления (облучались ядра от золота до урана различными ионами вплоть до аргона), проведенные в последнее время в Дубне, показали; что дисперсия осколков по массе быстро возрастает с увеличением параметра  $Z^2/A$  составного ядра, а максимум распределения смещается в сторону больших  $Z$  <sup>/45/</sup> (рис. 5). Например, в реакции  $^{238}U (^{40}Ar, f)$  наблюдается значительный выход ядер полония и астатина <sup>/46/</sup>. Имея пучок ускоренных ионов ксенона, можно синтезировать все известные изотопы трансурановых элементов вплоть до  $Z = 104-105$  и, по-видимому, продвинуться несколько дальше.

Немаловажным является также то обстоятельство, что при делении сверхтяжелых составных ядер образуются изотопы, значительно более обогащенные нейтронами, чем в реакциях с образованием составного ядра. Имея достаточно тяжелые ускоренные ионы, такие, например, как ксенон и уран, можно надеяться получить в качестве осколков деления изотопы 114-126 элементов с необходимым числом нейтронов ( $N \approx 184$ ). Однако ускорение столь тяжелых частиц пока встречает хотя и не принципиальные, но большие технические трудности. Ряд проектов в этом направлении разрабатывается <sup>/47-49/</sup>.

В настоящее время возникают новые возможности для поиска сверхтяжелых трансурановых элементов в космических лучах. Создаются диэлектрические детекторы, способные дать хорошее разрешение по заряду для тяжелых ядер при релятивистских скоростях. Кроме того, новей-

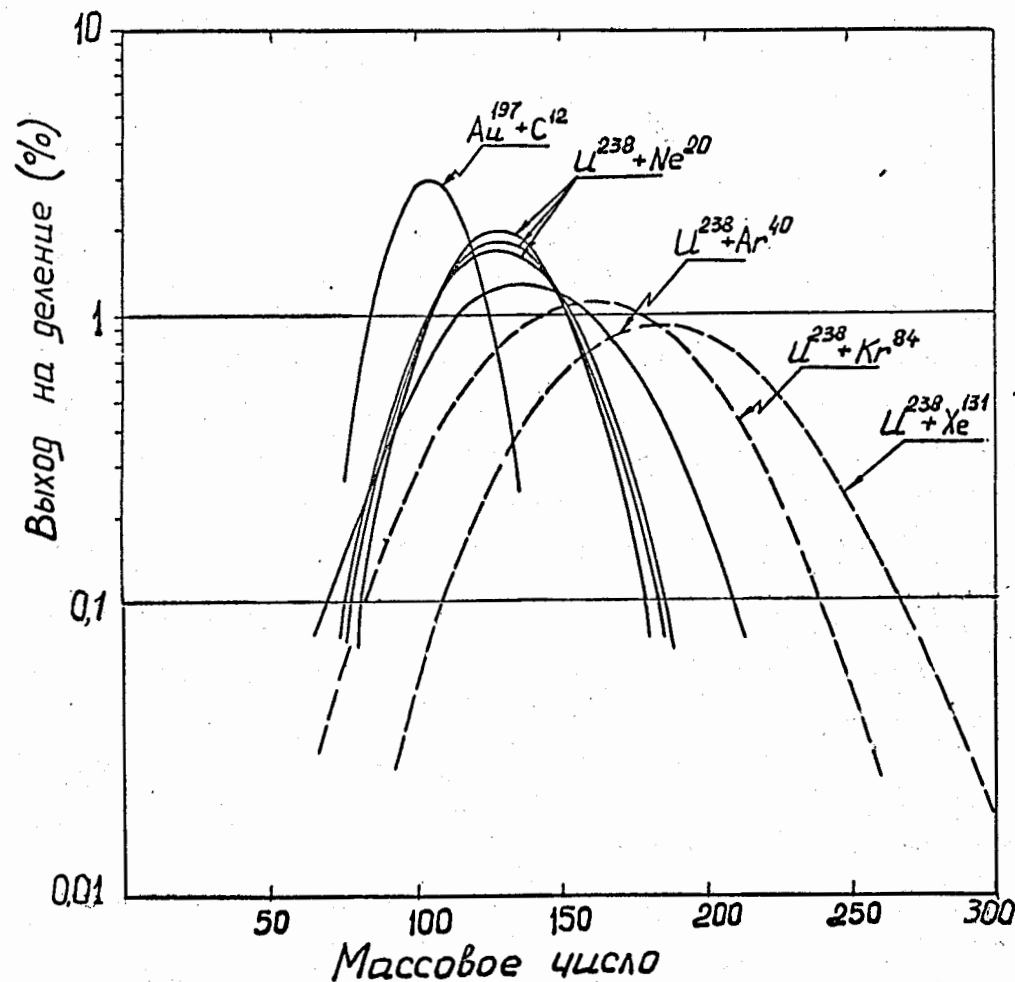


Рис.5. Распределение по массам осколков деления в реакциях с тяжелыми ионами. Сплошные линии — экспериментальные результаты; пунктир — расчетные оценки.

шая техника космических полетов открывает значительно более широкие перспективы для таких исследований, чем шары-зонды П.Фаулера.

Обнаружение в природе даже одного единственного сверхтяжелого элемента означает, что по соседству с ним существует целая группа более короткоживущих ядер, которые можно синтезировать и изучать в лаборатории. Тогда возникает перспектива: синтезировать эти короткоживущие ядра, имея в качестве мишени естественный сверхтяжелый элемент. Поэтому следующий шаг в изучении сверхтяжелых элементов будет сделан с помощью химии. Хотя химические свойства наблюдаемого излучателя еще не вполне выяснены, мы надеемся в скором будущем добиться успеха в этом направлении. Если мы научимся уверенно выделять его из минералов и сможем получить достаточное количество атомов, то в принципе возможно приготовить мишень и облучить ее различными частицами. При этом мы надеемся, что бомбардировка нового элемента позволит нам синтезировать соседние с ним элементы, подобно тому как при бомбардировке урана были открыты трансураны.

Мы видим, таким образом, что развитие физики и химии трансурановых элементов, имевшее место за последние десятилетия, стало возможным благодаря Периодическому закону, благодаря той огромной информации о связях между свойствами различных элементов, которая в нем содержится. В свою очередь, исследования в области трансурановых элементов не только углубят наши знания о ядерных свойствах материи, но также расширят наши представления о Периодической системе элементов, раздвинут ее границы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Е.Д.Донец, В.А.Щеголев, В.А.Ермаков. АЭ, 16, 195 (1964).
2. Е.Д.Донец, В.А.Щеголев, В.А.Ермаков. АЭ, 20, 223 (1966).
3. Б.А.Загер и др. АЭ, 20, 230 (1966).

4. В.А.Друин и др. АЭ, 22, 127 (1967).
5. В.Л.Михеев и др. АЭ, 22, 90 (1967).
6. Г.Н.Флеров и др. ЯФ 5, 1186 (1967).
7. Г.Н.Флеров. АЭ, 24, 5 (1968).
8. И.Звара и др. АЭ, 21, 83 (1966).
9. И.Звара и др. Радиохимия, 11, 163 (1969).
10. И.Звара и др. Препринт ОИЯИ Д7-4542, Дубна, 1969.
11. Н.И.Тарантин, А.П.Кабаченко, А.В.Демьянов. АЭ, 27, 432 (1969).
12. P.Fields et al., Arkiv fysik 15, 225 (1959); Phys.Rev., 107, 1460 (1957).
13. A.Ghiorso et al. Phys.Rev.letters., 1, 17 (1958).
14. A.Ghiorso et al. Phys.Rev.Letters, 1, 18 (1958).
15. А.Гиорсо. АЭ 7, 338 (1959).
16. Г.Н.Флеров и др. Докл. АН СССР, 120, 73 (1958); ЖЭТФ 38, 82 (1960).
17. A.Ghiorso et al. Phys.Rev.Letters 6, 473 (1961).
18. A.Ghiorso et al. Phys.Rev.Letters 6, 473 (1961).
19. A.Ghiorso, as cited in "Tables of Isotopes" by C.Lederer et al. 6-th edition, J.Willey & Sons (1967).
20. Е.Д.Донец, В.А.Щеголев, В.А.Ермаков. АЭ 19, 109 (1965).
21. G.N.Flerov et al. Nucl.Phys., A106, 476 (1967).
22. Г.Н.Флеров и др. Препринт ОИЯИ Р7-3556, Дубна, 1967. ЯФ, 7, 977 (1968).
23. В.А.Друин. Препринт ОИЯИ Р7-4755, Дубна, 1969.
24. Е.Д.Донец, В.А.Друин, В.Л.Михеев. АЭ 25, 87 (1968).
25. Ю.Т.Чубурков и др. Препринт ОИЯИ Д7-4085, Дубна, 1968.
26. A.Ghiorso et al. Symp. on Macroscopic Studies of Actinides, abstr. 24; San Francisco, Calif. (1968).
27. Г.Н.Флеров, Ю.Ц.Оганесян, Ю.В.Лобанов и др. АЭ 17, 310 (1964).
28. A.Ghiorso et al. Phys.Rev.Letters, 22, 1316 (1969).

29. G.T.Seaborg. A talk at the X-th Mendeleev Congress, Leningrad, USSR, September, 1969.
30. Г.Н.Акапьев, В.А.Друин и др. Препринт ОИЯИ Р7-4772, Дубна, 1969.
31. В.А.Друин, С.А.Карамян, Ю.Ц.Оганесян. Препринт ОИЯИ 1670, Дубна, 1964.
32. Ю.Ц.Оганесян, Ю.В.Лобанов, С.П.Третьякова и др. Препринт ОИЯИ Р7-4797, Дубна, 1969.
33. Дж.Уилер, статья в кн. "Нильс Бор и развитие физики", стр. 214, ИИЛ, Москва (1958).
34. Г.Н.Флеров, В.А.Друин, А.А.Плеве. УФН 100, 45 (1970).
35. G.T.Seaborg. "Annual Review of Nuclear Science", 18, 53(1968).
36. G.N.Flerov. "Future of Nuclear Structure Studies", p. 11, IAEA, Vienna (1969).
37. P.H.Fowler et al. Proc. Roy, Soc., A301, 39 (1967);  
П.Фаулер. Доклад на семинаре в Дубне, март 1969 г.
38. Г.Н.Флеров, В.П.Перельгин. Препринт ОИЯИ Д7-4205, Дубна (1969).
39. Г.Н.Флеров, Н.К.Скобелев, Г.М.Тер-Акопян и др. Препринт ОИЯИ Д6-4554, Дубна (1969).
40. Э.Цесляк. Препринт ОИЯИ Р15-4738, Дубна, 1969.
41. П.Прайс. Сообщение на конф. по трансурановым элементам в Хьюстоне, США (1969).
42. J.R.Nix. Phys.Lett., 15B, 1 (1969).
43. Ю.А.Музычка. Препринт ОИЯИ Р7-4435, Дубна (1969).
44. G.N.Flerov. Nukleonika, 12, 1081 (1967); Proc.Int.Conf. on Nucl.Structure, Tokyo 1967, paper VII.
45. С.А.Карамян, Ю.Ц.Оганесян. Препринт ОИЯИ Р7-4339, Дубна (1969).
46. И.В.Кузнецов и др. Препринт ОИЯИ Р7-3710, Дубна (1968).
47. Particle Accelerator Conference, Washington, USA (1969).
48. Ю.Ц.Оганесян, М.М.Фикс. Препринт ОИЯИ 9-4165, Дубна, 1969.
49. R.S.Livingston. Preprint ORNL-TM-2662 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 января 1970 года.