

СЗУ.2Г
Ф-716

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



2/1-78

67/2-78

P7 - 11097

Г.Н.Флеров

СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

1977

P7 - 11097

Г.Н.Флеров

СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Сверхтяжелые элементы

С помощью высокочувствительных нейтронных детекторов проведены поиски сверхтяжелых элементов в ряде образцов земного происхождения, а также в некоторых метеоритах. В образцах трех метеоритов обнаружен эффект спонтанного деления, который может быть объяснен присутствием в них нового спонтанно делящегося нуклида. Представляется вероятной принадлежность этого нуклида к одному из сверхтяжелых элементов, концентрация которого в изученных образцах составляет $\sim 10^{-14}$ г/г. Аналогичные результаты получены при изучении активности спонтанного деления анионно-обменной смолы, через которую пропускалась вода геотермального источника, богатая тяжелыми металлами. Среднее число мгновенных нейтронов спонтанного деления оценивается $\bar{\nu} \sim 4$. Обсуждаются возможные методы идентификации этой активности. Также обсуждаются результаты экспериментов по синтезу сверхтяжелых элементов в реакциях на пучке ионов ^{48}Ca .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Superheavy Elements

Searches for superheavy elements in terrestrial and meteoritic samples have been carried out using very sensitive neutron detectors. In samples of three meteorites a spontaneous fission activity has been detected, which may be explained as being due to the presence of a new spontaneously fissioning nuclide therein. This nuclide is likely to be a superheavy element whose concentration in the samples investigated is about 10^{-14} g/g. Similar results have been obtained from other studies in which geothermal water rich in heavy metals was passed through anion-exchange resin to investigate the spontaneous fission activity of the latter. The average number of prompt spontaneous fission neutrons, $\bar{\nu}$, is estimated to be about 4. Possible methods of identifying this activity are considered. The results of experiments to synthesize superheavy elements by ^{48}Ca ion-induced reactions are under discussion.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Со времени возникновения гипотезы о возможном существовании относительно стабильных сверхтяжелых ядер прошло около 10 лет. Новая идея стимулировала многие исследования по синтезу и изучению свойств тяжелых атомных ядер. Исследования, несомненно, повысили уровень наших знаний в этой области. Однако и сегодня, анализируя большое число теоретических и экспериментальных работ, мы вновь приходим к выводу о том, что в районе новых магических чисел $Z = 114$ и $N = 184$ атомные ядра должны быть необычайно стабильными. Факторы запрета относительно спонтанного деления здесь могут достигать громадных чисел - 10^{30} - 10^{40} . Естественно, что они вычисляются в теории с определенной степенью точности. Поэтому, например, ожидаемые периоды полураспада ядер вблизи вершины острова стабильности могут быть предсказаны с почти одинаковой вероятностью в интервале от одного дня до 10^{10} лет.

С точки зрения оценки справедливости гипотезы такая неопределенность не имеет принципиального значения. Однако, если мы когда-либо будем в состоянии проводить эксперименты с естественными или искусственно синтезированными сверхтяжелыми ядрами, полученные результаты далеко превзойдут рамки простого уточнения их периодов полураспада. За прошедшее десятилетие никому из экспериментаторов не удалось достигнуть этого. Однако нет никаких оснований для пессимизма, так как только в последнее время появились весьма эффективные методы синтеза новых элементов и высокочувствительные установки для их обнаружения и изучения.

Круг вопросов, относящихся к проблеме сверхтяжелых ядер, много раз обсуждался в периодической литературе и на различных конференциях и симпозиумах. Поэтому в настоящей статье мы остановимся на некоторых новых результатах и постараемся дать общую оценку состояния проблемы и ее перспектив.

ПОИСКИ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДЕ

Поиски сверхтяжелых элементов /СТЭ/ в природе проводились во многих лабораториях. Результаты этих исследований довольно полно представлены в оригинальных статьях и обзорах^{/1-4/}.

С самого начала мы исходили из предположения, что проблема поиска сверхтяжелых элементов однозначно связана с необходимостью создания чрезвычайно чувствительных установок. В дальнейшем такая точка зрения полностью подтвердилась. Результаты проведенных исследований показывают, что для работы необходимы установки и методы, рассчитанные на обнаружение новых элементов в различных образцах при исключительно низкой концентрации 10^{-13} - 10^{-14} г/г.

Такой уровень чувствительности одновременно с большой гибкостью в исследовании разнообразных образцов может быть достигнут с помощью метода обнаружения спонтанного деления СТЭ путем регистрации событий множественной эмиссии нейтронов. Низкий уровень фона здесь достигается благодаря тому обстоятельству, что единственным спонтанно делящимся элементом в природе является уран^{/5,6/}. Период его полураспада относительно спонтанного деления / 10^{16} лет/ хорошо известен, концентрация в любом образце может быть определена с большой точностью.

Высокая чувствительность данного метода обеспечивается возможностью исследования образцов большого веса /несколько десятков кг/, благодаря большой проникающей способности мгновенных нейтронов спонтанного деления.

В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в Дубне Тер-Акопяном с сотрудниками в течение многих лет проводится работа по поиску сверхтяжелых элементов в природе с помощью нейтронных детекторов^{/1/} с ^3He - счетчиками. Такие детекторы позволяют наблюдать одновременно два, три, четыре и т.д. мгновенных нейтрона, испущенных в одном акте деления, и регистрируют спонтанное деления с вероятностью, зависящей от среднего числа нейтронов деления /до 30% для $\bar{\nu} = 2$ и ~100% для $\bar{\nu} \geq 5$ /. Измерения проводятся в соляной шахте на глубине 1100 метров водного эквивалента.

Собственный фон аппаратуры настолько мал, что в контрольных экспозициях продолжительностью более года не было зарегистрировано ни одного события спонтанного деления. В то же время скорость счета, равная одному спонтанному делению в неделю, соответствует концентрации $\sim 10^{-15}$ г/г в образцах весом около 20 кг для спонтанно делящихся излучателей, обладающих периодом полураспада 10^9 лет.

Используя нейтронные детекторы, а также пропорциональные счетчики осколков деления^{/1/}, мы изучили сотни различных образцов, к числу которых относятся свинцово-цинковые руды^{/7/}, железо-марганцевые конкреции^{/8/}, геотермальные воды^{/9/} и другие. Поскольку почти все земные образцы претерпели сложную геохимическую эволюцию на протяжении истории существования Солнечной системы, выбор наиболее перспективных объектов исследования представляет нетривиальную задачу. Химические свойства сверхтяжелых элементов предсказывались в ряде работ^{/10/}, однако эти предсказания не претендуют на то, чтобы ими можно было пользоваться при выборе объектов поиска СТЭ. Поэтому мы сочли наиболее разумным уделить внимание метеоритам типа углистых и неравновесных хондритов, которые по существующим представлениям^{/11,12/} относятся к наименее дифференцированным образованиям Солнечной системы и не обеднены тяжелыми летучими металлами (Hg, Tl, Pb, Bi), гомологами которых предположительно являются ожидаемые СТЭ^{/10/}.

О поисках СТЭ в углистом хондрите Алленде сообщалось в 1973 году в работе Стоутона и др.^{/13/}. Полу-

ценные отрицательные результаты позволили указать лишь предел концентрации СТЭ 10^{-13} г/г в предположении, что его период полураспада равен 10^9 лет.

Наши исследования были начаты в 1972 году и продолжались до 1976 года^{2,14-16/} на образцах метеоритов Саратов, Ефремовка и Алленде. Применявшаяся методика в 100 раз превосходила по чувствительности аппаратуру Стоутона и др.^{18/}. Результаты измерений с метеоритами представлены в табл. 1, в колонках которой

Таблица 1

Наименование образца	Вес (кг)	ξ (%)	Время (дни)	Число событий с кратностью n		
				$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
Саратов	5,2	22	94	4	1	0
Алленде	3,9	22	40	3	0	0
Алленде	22,5	12	55	10	1	0
Алленде	10,5	30	45	5	2	1
Ефремовка	11,7	12	106	14	1	0
Свинец	150	30	5	0	0	0
Аналог углистых конкретов, сделанный из хим. реактивов	10	30	70	0	0	0
Фон	0 22 и 30		250	0	0	0

даны названия образцов, их вес, эффективность регистрации одиночных нейтронов в установках, время экспозиции и число зарегистрированных событий с различной кратностью. Из 42 зарегистрированных событий только два с кратностью 2 могут быть отнесены к фону за счет спонтанного деления урана, концентрация которого в изученных образцах была определена с большой надежностью.

Для объяснения обнаруженного эффекта множественного испускания нейтронов необходимо допустить наличие в изученных образцах метеоритов какого-то неизвестного долгоживущего спонтанно делящегося нуклида. Нам представляется, что наиболее вероятным будет

предположение о принадлежности этого нуклида к области СТЭ. Полученные данные позволяют оценить по порядку величины его концентрацию, которая составляет для изученных образцов 10^{-14} г/г.

Можно оценить среднее число мгновенных нейтронов, сопровождающих деление: $\bar{\nu} = 5$.

В любом случае, если обнаруженный излучатель существует в природе и образовался в процессе нуклеосинтеза, он должен присутствовать не только в метеоритах, возраст которых близок к 4,7 млрд. лет, но и в земных образцах в различной концентрации. Поэтому в дальнейшем мы возвратились к изучению земных образцов.

По ряду соображений мы выбрали воду геотермального источника с полуострова Челекен, имеющую контакт с продуктами, поступающими из верхних слоев мантии, и богатую микроэлементами, в том числе тяжелыми летучими металлами. Эта вода пропусклась через большую колонну с анионно-обменной смолой. Затем

Таблица 2

Наименование образца	Вес (кг)	Σ (%)	Время (дни)	Число событий с кратностью n				
				$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$
Насыщенная смола	9	27	86	31	10	1	0	0
		38	10	28	14	1	0	1
		54	6	23	10	3	1	0
Минеральная фракция с 170 кг смолы	6	38	10	28	14	1	0	1
		39	7	28	16	3	0	0
		54	6	23	10	3	1	0
		54	6	23	10	3	1	0
Калифорний-252		27	-	1000	276	47	5	0
		36	-	1000	420	105	17	2
		44	-	1000	506	153	29	3
		58	-	1000	744	431	86	15
Уран-238		27	-	1000	107	5	0	0
		38	-	1000	159	11	0	0
		44	-	1000	190	16	1	0
		58	-	1000	272	31	2	0

минеральная фракция была смыта и помещена в чувствительный объем нейтронного детектора. Результаты измерений представлены в *табл. 2*, которая составлена по образцу *табл. 1*. Из общего числа 160 зарегистрированных событий только шесть с кратностью 2 и одно событие с кратностью 3 могут быть отнесены за счет спонтанного деления примеси урана в образцах.

Если, как и в случае с метеоритами, считать, что наблюдаемый эффект обусловлен спонтанным делением долгоживущего нуклида из области СТЭ, то его концентрация в минеральной фракции смолы оценивается 2.10^{-13} г/г в предположении, что период полураспада равен 10^9 лет. Оценка величины $\bar{\nu}$, которая следует из распределения событий по кратности, приводит к величине $\bar{\nu} \sim 4$, что не противоречит результату, полученному ранее для метеоритов.

Следует отметить, что и величина $\bar{\nu}$ и экспериментальное распределение событий по кратностям /см. *рис. 1/* мало отличаются от того, что следует ожидать для ^{252}Cf . Однако возможное загрязнение образцов изотопами $^{246,248}\text{Cm}$, ^{249}Cf , которые применялись в нашей лаборатории в качестве циклотронных мишеней, контролировалось путем измерения альфа-активности проб. Это позволило установить предел уровня фона, обусловленного данным загрязнением - не более одного деления за 20 суток для всех образцов, представленных в *табл. 2*.

Идентификация обнаруженной активности с помощью стандартных методов представляется невозможной, так как ее концентрация исключительно мала: в шести килограммах минеральной фракции находится $\sim 10^{12}$ атомов. Химическое выделение ее в более или менее чистом виде представляет также серьезную проблему, так как ее химические свойства неизвестны. Вместе с тем, если этот излучатель относится к СТЭ, то можно ожидать, что он будет обладать повышенной летучестью. Поэтому можно было попытаться несколько обогатить его, используя термохроматографический метод, что и было сделано в Дубне Зварой с сотрудниками для образцов метеорита Алленде^{17/}. Показано, что при температуре 1100°C около половины исходной активности возгоняется

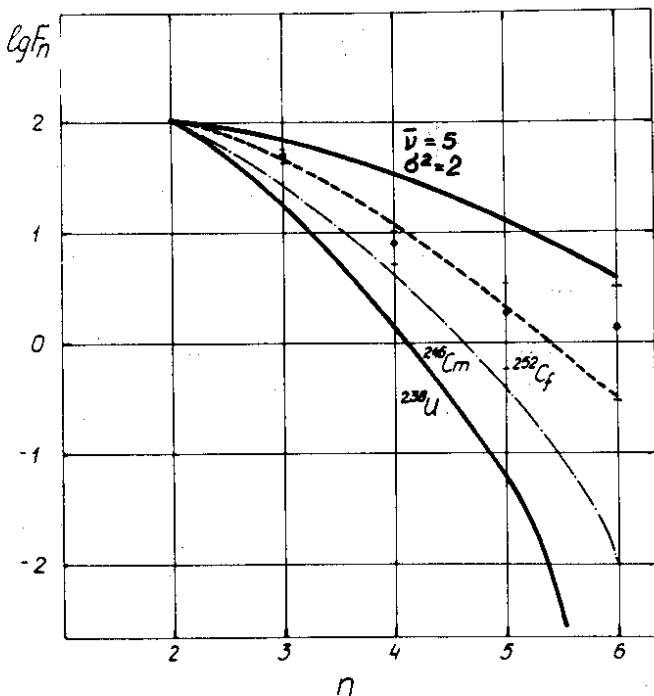


Рис. 1. Распределение событий по кратностям, полученное путем суммирования результатов для насыщенной смолы и продуктов смыва при эффективности регистрации одиночных нейтронов 27, 38, 39 и 54%. Для сравнения показаны аналогичные расчетные распределения, полученные в идентичных условиях для изотопов ^{238}U ($\bar{\nu} = 1,99$), ^{246}Cm ($\bar{\nu} = 2,96$) и ^{252}Cf ($\bar{\nu} = 3,756$), а также для гипотетического излучателя, имеющего $\bar{\nu} = 5$ и $\sigma^2 = 2$.

из вещества метеорита и она может быть сконцентрирована на небольшом относительно холодном сборнике. Это открывает дополнительные возможности для идентификации нового излучателя различными методами.

Один из методов был предложен Оганесяном и заключается в том, что при бомбардировке пучком α -частиц мишени, полученной путем возгонки и содержащей исследуемый элемент, можно наблюдать его вынужденное деление. Такое деление будет происходить с частотой, в 10^6 раз большей, чем спонтанное деление, при интенсивности пучка $10^{11} - 10^{12}$ л/с. Измерение порога реакции

деления позволит определить порядковый номер делящегося ядра с точностью до двух единиц, если монохроматичность пучка не хуже $150 \text{ кэВ} / \text{рис. 2/}$. Определив абсолютный выход осколков вынужденного деления при достаточно высокой энергии α -частиц, можно с точностью до фактора 2-3 оценить число атомов СТЭ в исследуемой мишени.

Подобные эксперименты проводятся в Дубне в настоящее время на циклотроне У-200, на котором получен пучок α -частиц $/\Delta E = 60 \text{ кэВ/}$ с плавно варьируемой энергией от 24 до 40 МэВ. Как показано в контрольных экспериментах, данный метод позволяет обнаружить ядра СТЭ, если их количество в мишени будет составлять $\geq 5 \cdot 10^8$.

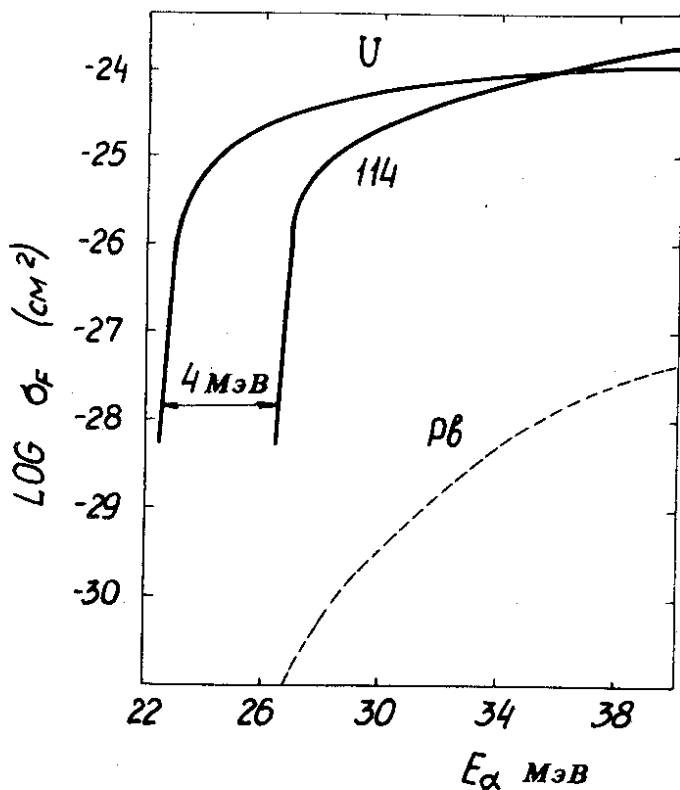


Рис. 2. Функции возбуждения для реакции урана, свинца и 114 элемента α -частицами.

Как было показано Спарксом и др.^{/18/}, близкие по чувствительности результаты могут быть достигнуты также с помощью рентгеновского флуоресцентного анализа с применением синхротронного излучения накопительных колец релятивистских электронов.

Наконец, использование эффективных масс-сепараторов с последующим облучением сборников интенсивным потоком быстрых нейтронов $/E_n \geq 12 \text{ МэВ}/^{4/}$, либо наблюдением спонтанного деления СТЭ на сборниках позволит определить массу нового ядра. Этот метод требует несколько большего количества атомов $/\geq 10^{10}/$.

По мере увеличения концентрации и получения более обогащенных образцов могут применяться и другие, в том числе классические методы, с помощью которых могут быть измерены более точные характеристики новых атомных ядер.

ИСКУССТВЕННЫЙ СИНТЕЗ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР

После попыток синтезировать изотопы 122 элемента в реакции слияния $^{232}\text{Th} + ^{76}\text{Ge}$ ^{/19/} и затем длительных облучений ^{238}U ионами ^{136}Xe , где можно было ожидать образования ядер с $Z = 110-114$ и $N \approx 184$ в качестве тяжелых фрагментов^{/20/}*, мы вернулись в последние годы вновь к реакциям типа (HI, xp) с использованием мишеней из изотопа свинца и соседних с ним элементов и бомбардирующих ионов с массой $A \geq 40$.

Этот метод, предложенный в 1974 году Оганесяном^{/21/}, получил затем дальнейшее развитие в экспериментах по синтезу целого ряда новых изотопов с атомными номерами от 100 до 107^{/22/}. Данные о свойствах

* В 1972 году мы наблюдали в реакции $\text{U} + \text{Xe}$ слабую активность спонтанного деления с периодом полураспада около 150 дней. Насколько нам известно, попытки получения этой активности в Дармштадте привели к отрицательным результатам. Однако, проанализировав еще раз результаты прежних экспериментов, мы не смогли найти какого-либо источника ошибки.

новых элементов, с одной стороны, и технические достижения по ускорению ионов таких изотопов как ^{50}Ti , ^{54}Cr и ^{58}Fe , с другой, позволили в конце 1975 года получить пучки ионов ^{48}Ca с интенсивностью $\sim 10^{12}$ част./с и поставить ряд экспериментов по синтезу сверхтяжелых ядер в реакциях ($^{48}\text{Ca}, xn$).

Контрольные эксперименты^{/23/} по облучению изотопов свинца ионами ^{48}Ca показали, что составные ядра 102 элемента можно получать относительно "холодными" $/E^* \approx 20 \text{ МэВ}/$. Это существенно повышает вероятность их перехода в основное состояние. Действительно, сечение образования $^{254}102$ в реакции $^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 2n)$ составляет около $4 \text{ мб}^{/22,24/}$, что позволяет получать изотоп в количествах десятков тысяч атомов в час. Естественным было затем попытаться получить более тяжелые ядра с использованием мишеней из трансурановых элементов. Большая серия опытов проведена в начале 1976 года с использованием различных мишеней, разных установок и различных предположений о свойствах синтезируемых ядер^{/22,25,26/}. Результаты экспериментов представлены в табл. 3.

Как видно из таблицы, для всех исследуемых нами реакций были получены лишь верхние границы сечений от 10^{-35} до 10^{-34} см^2 в определенных предположениях о временах жизни синтезируемых ядер. Практически такие же отрицательные результаты получены в Беркли^{/27, 28/} для реакции $^{248}\text{Cm} + ^{48}\text{Ca}$.

Не вдаваясь в детали постановки этих экспериментов и методические описания, которые достаточно подробно изложены в оригинальных статьях, укажем лишь, что полученный результат может иметь, в принципе, два объяснения, если не отвергать гипотезу о возможной стабильности сверхтяжелых ядер. Либо при переходе от свинца к более тяжелым мишеням изменился механизм взаимодействия в столь сильной степени, что это привело к уменьшению сечения более чем в 10^4 раз; либо реальные свойства синтезируемых нами ядер сильно отличаются от наших предположений и возможностей таких методик.

Таблица 3

Реакция	Энергия ионов (МэВ)	Интегр. поток	Составное ядро	Продукты з.л-реакции	Предполаг. тип распада	Способ детектирования	Сечение (см ²)
$^{233}\text{U} + ^{48}\text{Ca}$	240 - 255	$2 \cdot 10^{16}$	$^{281}\text{II2}$	$^{278}\text{II2}$	$T_a < T_{sf}$	α -распад ^{255}Fr	$\leq 7 \cdot 10^{-35}$
$^{231}\text{Pa} + ^{48}\text{Ca}$	225 - 255	$1,6 \cdot 10^{16}$ $2 \cdot 10^{16}$	^{279}III	^{276}III	$T_a < T_{sf}$	сп.дел. ^{256}Fr	$\leq 5 \cdot 10^{-35}$
				276 ^{277}III	$T_{sf} \geq 3\text{мс}$	сп.дел.	$\leq 2 \cdot 10^{-35}$
$^{232}\text{Th} + ^{48}\text{Ca}$	230 - 255	$1,3 \cdot 10^{16}$	$^{280}\text{II0}$	277 $^{278}\text{II0}$	$T_{sf} \geq 3\text{мс}$	сп.дел.	$\leq 3 \cdot 10^{-35}$
				287 $^{288}\text{II4}$	$T_{sf} > T_a > 2 \text{ час}$ $T_a > T_{sf} > 2 \text{ час}$	α -распад сп.дел.	$\leq 2 \cdot 10^{-34}$ $\leq 1 \cdot 10^{-35}$
$^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$	250 - 265	$2,3 \cdot 10^{16}$	$^{291}\text{II5}$	288 $^{289}\text{II5}$	$T_{sf} > T_a > 2 \text{ час}$ $T_a > T_{sf} > 2 \text{ час}$	α -распад сп.дел.	$\leq 2 \cdot 10^{-34}$ $\leq 1,5 \cdot 10^{-35}$
				294 $^{296}\text{II6}$	$T_{sf} > T_a > 2 \text{ час}$ $T_a > T_{sf} > 2 \text{ час}$	α -распад сп.дел.	$\leq 2 \cdot 10^{-34}$ $\leq 2 \cdot 10^{-35}$

В первом случае интересно было бы исследовать промежуточный вариант, т.е. синтезировать на пучке ^{48}Ca элемент, находящийся между 102 и 112. Для этой цели мы намерены исследовать реакцию $^{226}\text{Ra}(^{48}\text{Ca}, \text{xn})^{274-x}108$ наряду с другой реакцией $^{204-210}\text{Pb}(^{58}\text{Fe}, \text{xn})^{(262-268)-x}108$, приводящей к более нейтронодефицитным изотопам 108 элемента.

Второе объяснение означало бы, что периоды полураспада сверхтяжелых элементов либо слишком велики /так что мы просто не видели их распада/, либо слишком малы /эти СТЭ распадаются до того, как мы успевали транспортировать их к детекторам/. Поскольку исследуемый диапазон по Z и A охватывал ядра, удаленные от дважды магической вершины острова стабильности на 6-10 нейтронов, разумнее предположить, что мы имеем дело с малыми периодами полураспада. Это также не было бы неожиданным, т.к. даже в самом лучшем случае, в реакции $^{248}\text{Cm}(^{48}\text{Ca}, \text{xn})^{296-x}116$ мы можем рассчитывать лишь на изотоп, удаленный от $N = 184$ минимум на 6 нейтронов. Нельзя исключить, что это обстоятельство может привести к заметному понижению барьера деления, а следовательно, и к резкому уменьшению времени жизни этого ядра относительно спонтанного деления /рис. 3/.

Вместе с тем, одно объяснение не исключает другого, и обе рассмотренные выше причины могут влиять на конечный результат. Дальнейшее развитие этих работ мы связываем, в первую очередь, с пуском в Дубне нового ускорителя - 400-сантиметрового изохронного циклотрона, на котором могут быть получены пучки ионов с энергией $E = 750 \text{ q}_1^2/A^{2/29}$. Пучки ионов $^{48}\text{Ca}^{+4} / E = 250 \text{ МэВ/}$ могут быть получены, по нашим оценкам, с интенсивностью вплоть до 10^{14} част./с , а временная структура пучка позволит создать установки, регистрирующие ядра с $T_{1/2} \geq 10^{-7} \text{ с}$. Мы думаем сразу после пуска нового циклотрона вновь вернуться к этой задаче.

Естественно, что помимо прямых опытов по синтезу СТЭ существуют и другие подходы к различным аспектам проблемы существования области стабильности и характеристик распада сверхтяжелых ядер.

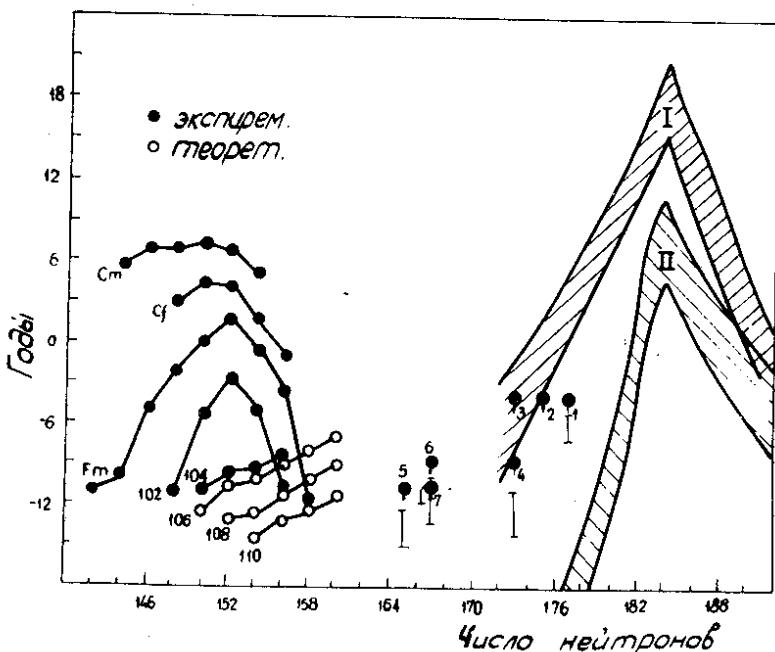


Рис. 3. Систематика периодов спонтанного деления четно-четных изотопов /черные кружки/ и теоретические оценки. Область значений I соответствует расчетам Физета и Никса³², область II - расчетам Рендрупа и др.³³, открытые кружки - расчеты Барана и др.³⁴ для легких изотопов 106-110 элементов. Даны верхние границы периодов полураспада для нечетных изотопов, которые могли получаться в реакциях с ⁴⁸Ca; вертикальные линии соответствуют ожидаемым верхним пределам периодов полураспада соседних четно-четных изотопов^{25,26}.

В этой связи представляет интерес изучение механизма распада слабозбужденных ядер, проведенное недавно Оганесяном с сотрудниками³⁰ в реакциях с ионами ⁴⁸Ca, а затем и ⁴⁰Ar. В массовом распределении осколков деления промежуточного ядра с массой около 290 и энергией возбуждения менее 50 МэВ отчетливо наблюдается сильная асимметрия, обусловленная, по всей вероятности, оболочечными эффектами /рис. 4/. Дальнейшие эксперименты в этом направлении с использованием различных изотопов ²³⁸⁻²⁴⁴Pu, ²⁴²⁻²⁴⁸Cm, а также ²⁴⁹Bk и ²⁴⁹Cf в комбинациях с бомбардирующими

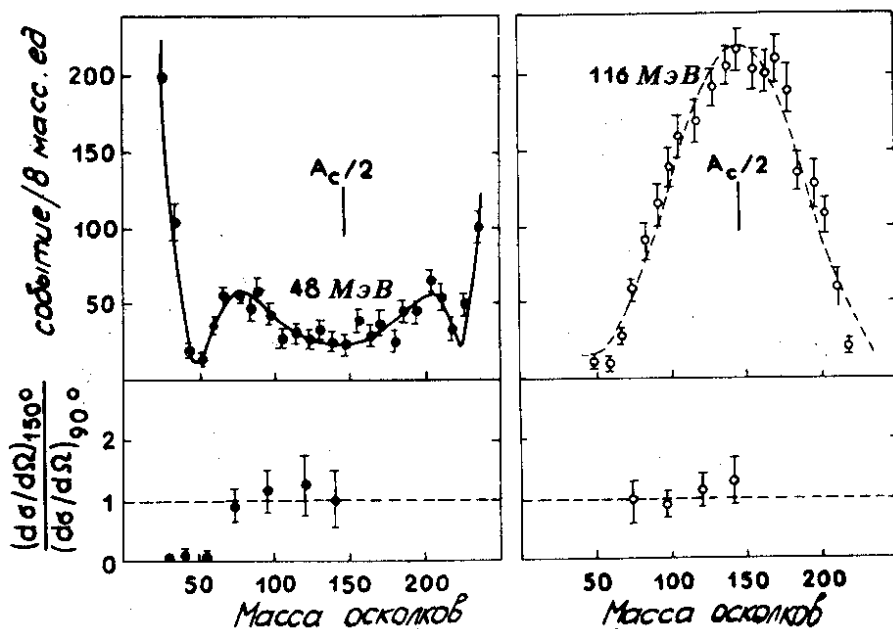


Рис. 4. Массовые распределения коррелированных осколков деления промежуточной системы, образующейся в реакции $^{243}\text{Am} + ^{40}\text{Ar}$ при энергиях возбуждения 48 и 116 МэВ. В нижней части рисунков даны параметры угловой анизотропии для различных участков массового распределения $^{30}/$.

частицами $^{40-48}\text{Ca}$ позволяет проводить систематические исследования этого явления подобно тому, как это делается в настоящее время для спонтанного деления изотопов $\text{Fm}/^{31}/$.

Интересным, на наш взгляд, является также измерение числа мгновенных нейтронов, сопровождающих низкоэнергетическое деление в области сверхтяжелых элементов.

Таким образом, прошедшие 10 лет привели к существенному продвижению от теоретических предсказаний к конкретным экспериментальным попыткам наблюдения природных СТЭ и их искусственного синтеза. Возможно, эта увлекательная задача в значительной степени усилила интерес к тяжелым ионам, с помощью которых можно получать необычные ядра и в необычных состояниях.

По-видимому, в ближайшем будущем проблема, о которой мы говорили, приобретет совершенно новый характер благодаря обнаружению нового природного спонтанно делящегося нуклида. Конечно, окончательное выяснение природы этого нуклида требует проведения ряда контрольных экспериментов /см. рис. 5/. Однако мы считаем своевременной постановку задачи его концентрации и получения в миллиграммовых количествах, в предположении, что этот нуклид принадлежит к области СТЭ. Мишень из природного СТЭ позволит получить не только богатую информацию об одном из изотопов из новой области стабильности, но позволит также изучать эту область, синтезируя многие новые нуклиды.

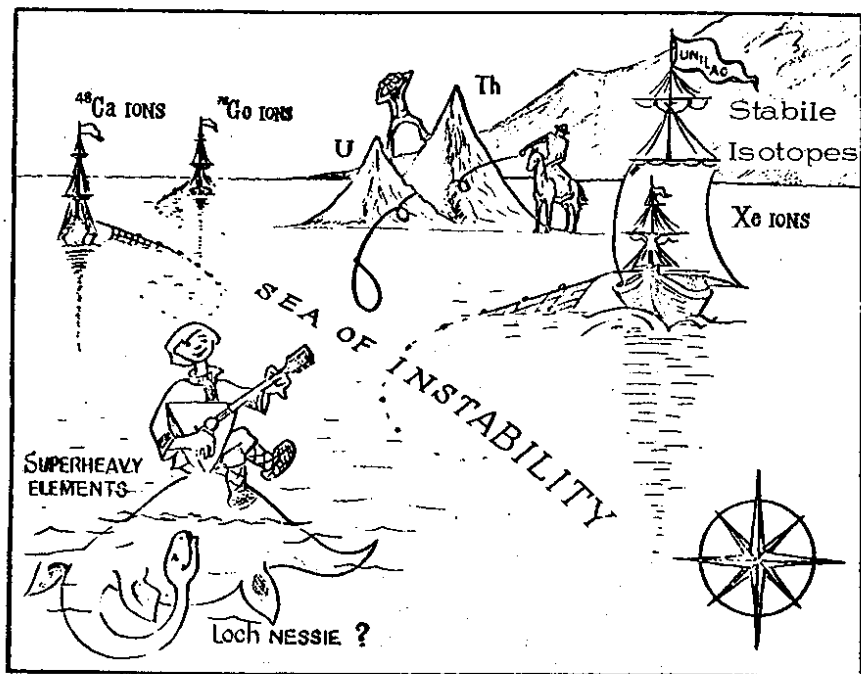


Рис. 5. Эта аллегория отражает, как нам представляется, состояние работ по поискам в природе и искусственному синтезу элементов, принадлежащих к "острову стабильности".

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с.472.
2. Flerov G.N. *Int. Conf. on Reactions between Complex Nuclei*, Nashville, USA, 1974, v.2, p.459.
3. Herrmann G. *Inorganic Chemistry, Ser. 2, v. 8, Radiochemistry*, ed. by A.G.Maddock, 1975, p.221.
4. Stephan C. e.a. *J. de Phys.*, 1975, 36, p.105.
5. Петржак К.А., Флеров Г.Н. ЖЭТФ, 1940, 10, с.1013.
6. Флеров Г.Н. и др. ДАН СССР, 1958, 118, с.69.
7. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с.639.
8. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1975, 21, с.9.
9. Чубурков Ю.Т. и др. Радиохимия, 1974, 16, с.827.
10. Келлер О.Л. Радиохимия, 1975, 17, с.609.
11. Виноградов А.П. Геохимия, 1961,1, с.1.
12. *Handbook of Elemental Abundances in Meteorites*, ed. B.Mason, ser. *Extraterrestrial Chemistry*, 1971, v.1, New York.
13. Stoughton R.W. e.a. *Nature Phys. Sci.*, 1973, 246, p.26.
14. Попеко А.Г. e.a. *Phys.Lett.*, 1974, 52B, p.417.
15. Попеко А.Г. и др. ЯФ, 1975, 21, с.1220.
16. Флеров Г.Н. и др. ОИЯИ, Р6-10581, Дубна, 1977.
17. Звара И. и др. ОИЯИ, Р6-10589, Дубна, 1977.
18. Sparks C.J., Jr. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1977, 38, p.205.
19. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, 19, с.492.
20. Oganessian Yu.Ts. *Int. Conf. on Nuclear Physics, Munich*, 1973, v.2, p.351.
21. Oganessian Yu.Ts. e.a. *Nucl.Phys.*, 1975, A239, p.353.
22. Oganessian Yu.Ts. *Nucleonika*, 1977, 22, p.89.
23. Flerov G.N. e.a. *Nucl.Phys.*, 1976, A267, p.359.
24. Nitschke J.M. e.a. LBL-6534, *Preprint*, 1977.
25. Ter-Akopian G.N. e.a. JINR, E7-10722, Dubna, 1977.
26. Oganessian Yu.Ts. e.a. JINR, E7-10750, Dubna, 1977.
27. Hulet E.K. e.a. *Preprint UCRL-79441*.
28. Otto R.J. e.a. *Preprint LBL-6509*.
29. Markov B.N. *IEEE NS24*, 1977, p.1215.
30. Kalpakchieva R. e.a. JINR, E7-10632, Dubna, 1977.
31. Hoffman D.C. *3rd Int. Conf. on Nuclei Far from Stability, Cargese*, 1976, CERN 76-13, 1976, p.565.
32. Fiset E.O., Nix J.R. *Nucl.Phys.*, 1972, A193, p.647.
33. Randrup J. e.a. *Physica Scripta*, 1974, 10A, p.60.
34. Baran A. e.a. *3rd Int. Conf. on Nuclei Far from Stability, Cargese*, 1976, CERN 76-13, 1976, p.537.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 ноября 1977 года.