

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗ41.2Г  
Ф-716

12/11/75

P7 - 8520

Г.Н.Флеров

979/2-75

ДВА ПОДХОДА К ПРОБЛЕМЕ СИНТЕЗА  
ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1975

P7 - 8520

Г.Н.Флеров

ДВА ПОДХОДА К ПРОБЛЕМЕ СИНТЕЗА  
ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Для трансфермиевых элементов характерны два вида радиоактивного распада: альфа-распад и спонтанное деление, и этим, в основном, обусловлен тот факт, что сложились два подхода к проблеме синтеза и идентификации новых элементов\*.

В Лаборатории им. Лоуренса в Беркли /США/ все методические разработки, нацеленные на идентификацию изотопов, базируются, как правило, на свойствах  $\alpha$ -распада, на корреляциях и тенденциях изменения энергии и времени жизни относительно  $\alpha$ -распада при изменении массового и атомного номеров. Опираясь на эти закономерности, а также на предсказания химических свойств на основе периодической системы элементов, американские исследователи в свое время идентифицировали с помощью метода ионно-обменной хроматографии девять сравнительно долгоживущих элементов от нептуния  $Z=93$  до менделевия  $Z=101$  включительно. Но уже в случае 102-го элемента традиционный химический метод в сочетании с изучением  $\alpha$ -радиоактивных свойств изотопов привел авторов работ 1957 года /Институт

---

\* Электронный захват и  $\beta$ -распад - процессы медленные, и их роль невелика при распаде изотопов элементов с  $Z > 102$ , образующихся в реакциях с тяжелыми ионами и имеющих короткие времена жизни относительно  $\alpha$ -распада и спонтанного деления /большие энергии  $\alpha$ -распада и низкие барьеры деления/. Кроме того,  $\beta$ -излучатели не имеют характерной энергии, вследствие чего идентификация малых количеств атомов по  $\beta$ -лучам чрезвычайно затруднительна.

физики, Стокгольм/ и 1958 года /Лаборатория им. Лоуренса, Беркли/ к ошибочным выводам о синтезе элемента 102. Объясняется это, прежде всего, возросшими экспериментальными трудностями, обусловленными малым выходом изотопов в ядерных реакциях с тяжелыми ионами, малыми временами их жизни и заметным фоном  $\alpha$ -радиоактивных изотопов более легких элементов, усложняющих идентификацию.

В связи с объективными трудностями детектирования  $\alpha$ -распада новых элементов, а также и по ряду других причин, о которых пойдет речь ниже, в Лаборатории ядерных реакций в Дубне, начиная с конца 50-х годов, развивается другой подход к идентификации новых трансурановых элементов. Мы ориентируемся главным образом на изучение спонтанного деления ядер как очень характерного типа распада трансфермиевых элементов. Параллельно мы уделяли и уделяем должное внимание изучению  $\alpha$ -распада и накопили значительный опыт в этом направлении. Так, нами весьма детально исследовались источники и роль  $\alpha$ -радиоактивного фона, разработаны методы тщательной очистки мишенного вещества от микропримесей свинца, ртути и их соседей, приводящих к появлению этого фона, а также и высокочувствительные методы активационного анализа веществ на содержание опасных примесей. На базе этих разработок мы успешно провели опыты по синтезу 102-го и 103-го элементов<sup>/1/</sup>, правильно идентифицировали в 1965-66 годах ряд  $\alpha$ -радиоактивных изотопов этих элементов и выяснили ошибочность прежних данных Беркли и Стокгольма по эффектным "нобелию" и "лоуренсию".

Вместе с тем наш опыт, накопленный в процессе синтеза элементов 102 и 103, лишний раз показал нам целесообразность ориентации на спонтанное деление.

Остановимся на том, что представляется наиболее важным и интересным в проблеме синтеза трансурановых элементов с точки зрения ядерной физики, и проанализируем оба методических подхода с позиций:

1. Информативности, т.е. объема и ценности тех сведений о ядерной материи, которые извлекаются из данных по  $\alpha$ -распаду и спонтанному делению.

2. Особенности методики синтеза и идентификации элемента применительно к одному и другому типам распада.

3. Надежности /однозначности/ доказательства факта синтеза.

### §1. Информативность

Основные черты явления спонтанного деления были, как известно, теоретически выяснены и описаны Н.Бором, Я.Френкелем и другими исследователями в предвоенные годы. После экспериментального обнаружения спонтанного деления урана-238 в 1940 году<sup>/2/</sup> интерес к изучению этого нового явления оказался очень высоким, и по мере открытия новых трансурановых элементов становилось ясным, что этот вид распада приобретает наиболее важную роль именно для них и что он в конце концов должен поставить предел дальнейшему расширению периодической системы.

В 1958 году Дж.Уилер<sup>/3/</sup> впервые исследовал количественно /в рамках классической модели жидкой капли/ вопрос о границах области существования ядер. Он пришел к выводу, что могут существовать ядра намного тяжелее наиболее тяжелых известных изотопов и все же достаточно устойчивые к спонтанному делению, главному процессу распада таких ядерных систем.

Но уже в то время было очевидно, что спонтанное деление представляет собой наиболее трудный для теоретического истолкования вид радиоактивного распада. Так, если модель жидкой капли предсказывает плавную зависимость времени жизни ядер относительно спонтанного деления от параметра делимости  $Z^2/A$ , то в экспериментальных результатах было обнаружено причудливое изменение  $T_{SF}$  с ростом числа нейтронов в ядре /меньшие времена жизни у более тяжелых изотопов, увеличение времен жизни в  $10^3 - 10^5$  раз для нечетных изотопов по сравнению с четно-четным соседом и т.д./.

Поэтому представлялось, что изучение спонтанного деления далеких трансурановых элементов позволит дать

ответы на многие неясные вопросы, и можно было ожидать появления и новых закономерностей, и новых эффектов.

Если к тому же учесть, что объективный интерес к явлению в нашем случае совпадал с субъективным фактором /мы занимаемся спонтанным делением с 1940 года/, то станет понятным, почему, приступая к синтезу далеких трансуранов, мы выбрали именно этот способ распада ядер для экспериментального изучения.

Сейчас можно с удовлетворением констатировать, что эта наша преимущественная ориентация на спонтанное деление была правильной и плодотворной. Мы действительно обнаружили ряд качественно новых, порой неожиданных явлений и закономерностей, связанных с делением тяжелых ядер. Это прежде всего открытое в 1962 году спонтанное деление из изомерного состояния <sup>4</sup>/новой природы /так называемая изомерия формы ядра/. Явление вызвало настолько живой и широкий интерес, что к настоящему времени насчитываются, пожалуй, сотни экспериментальных и теоретических работ по этой теме. Попытки теоретического объяснения нового явления привели к развитию так называемого "метода оболочечной поправки" В.М.Струтинского, на базе которого разными группами теоретиков проведены оценки барьеров спонтанного деления сверхтяжелых элементов и предсказано существование "острова стабильности" в районе  $Z = 110-120$ .

В 1971 году мы сообщили о наблюдении запаздывающего деления, которое следует за электронным захватом в очень нейтронодефицитных изотопах /на примере нептуния и америция/.

Изучение этого явления обещает дать важную информацию о структуре барьеров деления нейтронодефицитных ядер.

В 1964 году мы смогли сообщить об открытии элемента  $104^{4/4}$ , зарегистрировав спонтанное деление его изотопа с массой 260, имеющего период полураспада ~ 0,1 сек. В 1970 году в нашей лаборатории был открыт по спонтанному делению элемент  $105^{261}_{105}$  с  $T_{1/2} = 1,8$  сек/, а в июне 1974 года на базе разработки

существенно нового метода синтеза мы получили спонтанно делящийся изотоп 106-го элемента  $^{259}_{106}$  с периодом полураспада в несколько миллисекунд/.

Более того, продолжая исследовать спонтанное деление других изотопов элемента 104 /с массовыми числами 259, 256, 255, 254/, мы в 1973-74 годах установили, что характер изменения стабильности ядер с числом протонов, равным 104, в зависимости от числа нейтронов в ядре существенно отличается от аналогичных зависимостей для калифорния /98/, фермия /100/ и 102-го элемента.

Открытие новой закономерности в систематике периодов спонтанного деления имеет принципиальное значение в вопросах оценки стабильности сверхтяжелых элементов.

Таким образом, изучая спонтанное деление трансурановых элементов в течение последних, примерно 15 лет, мы получили ряд фундаментальных результатов, нашедших широкое признание научной общественности. Так, спонтанное деление ядер-изомеров изучается во многих крупных лабораториях. Большой интерес вызвало запаздывающее деление ядер. Новая закономерность в периодах спонтанного деления привлекла внимание ведущих теоретиков мира.

## §2. Особенности методики синтеза и идентификации элемента

В Беркли работы по синтезу трансурановых элементов с использованием тяжелых ионов были начаты в 1958 году с вводом в строй хайлака - линейного ускорителя тяжелых ионов. В Дубне в 1960 году начал работать 310-сантиметровый циклотрон тяжелых ионов У-300.

С первых шагов экспериментальные условия в этих лабораториях были разные. Наш циклический ускоритель тяжелых ионов в 10-100 раз превосходил по интенсивности пучков линейный ускоритель в Беркли, но в нашем распоряжении был меньший ассортимент весовых коли-

ществ трансураниевых элементов - мишеней, которые получают в ядерных реакторах. Последнее обстоятельство давало тот же коэффициент 10-100, на этот раз не в нашу пользу.

Анализируя свои возможности, мы, как экспериментаторы, видели очевидные преимущества спонтанного деления для детектирования нового элемента. Регистрация осколков деления осуществляется с наивысшей чувствительностью благодаря их большой энергии и сравнительно малому набору известных спонтанно делящихся излучателей. Заметные преимущества дает в этом случае использование относительно легких мишеней из слабо спонтанно делящихся или неделящихся изотопов и более тяжелых ускоренных частиц, чтобы избежать возможного фона от деления самого вещества мишени. Поэтому, ускоряя ионы неона, мы могли на плутониевых и америциевых мишенях изучать спонтанное деление 104-го и 105-го элементов.

У более тяжелых мишеней /кюриев, калифорний/ резко возрастает вероятность образования спонтанно делящихся изотопов фермия в результате многонуклонных реакций передачи, а это в значительной степени затрудняет детектирование спонтанного деления элементов 104-106, если их получать на таких мишенях.

Следуя по пути ускорения все более тяжелых частиц и использования нерадиоактивных мишеней, мы разработали существенно новый метод синтеза трансфермиевых элементов, основанный на образовании слабозбужденных составных ядер при бомбардировке свинцовых мишеней ускоренными ионами аргона, титана, хрома и т.п. Метод отличается очень высокой чувствительностью детектирования спонтанного деления благодаря отсутствию фона. Использование этого метода привело к синтезу 106-го элемента и открыло перспективы получения 107-го, 108-го и более тяжелых элементов.

Наконец, спонтанное деление позволило впервые исследовать в Дубне химические свойства 104-го и 105-го элементов с помощью оригинальной экспрессной методики изучения летучих галогенидов. Это означало решение исключительно трудной экспериментальной задачи. Ре-

гистрация распада новых элементов в химических опытах проводилась в условиях высокой температуры в корродирующей среде, что можно было осуществить только с помощью слюдяных детекторов осколков деления.

В Беркли, ориентируясь на изучение  $\alpha$ -распада, исследователи шли по пути утяжеления мишеней. Это лишало их возможности проводить эксперименты по спонтанному делению с достаточно высокой чувствительностью в силу худших фоновых условий.

Вместе с тем в экспериментах по  $\alpha$ -распаду требовалась тщательная очистка вещества от более легких примесей /например, свинца/, чтобы исключить возникновение  $\alpha$ -радиоактивного фона. Наличие фона приводило к усложнению методики идентификации нового  $\alpha$ -радиоактивного изотопа, и, тем не менее, полное преодоление фона, как отмечают сами авторы, является трудной проблемой.

### *§3. Надежность /однозначность/ доказательства*

Берклиевская группа в течение многих лет ставит под сомнение результаты Дубны по 104-му и 105-му элементам, в частности и потому, что рассматривает спонтанное деление как не очень характерное свойство ядер, несущее мало информации и поэтому не могущее служить аргументом при доказательстве факта синтеза.

На конференции по трансураниевым элементам в Хьюстоне /ноябрь 1969 года, Техас, США/ один из руководителей берклиевской группы А.Гиорсо заявил о том, что спонтанное деление вообще не может быть использовано для доказательства синтеза нового элемента и что регистрация одного акта  $\alpha$ -распада несет более емкую информацию, чем регистрация 1000 или даже 10 000 актов спонтанного деления.

Обращает на себя внимание тот факт, что такого рода "взгляды" на спонтанное деление возникли как раз тогда, когда появились дубненские сообщения о синтезе 104-го и 105-го элементов. До 1964-70 годов отношение берклиевской группы к спонтанному делению было совсем другим.

Вспомним работу Беркли 1955 года, когда были успешно проведены эксперименты по синтезу элемента 101, менделевия. В первых восьми опытах было зарегистрировано всего 17 актов спонтанного деления изотопа  $^{256}\text{Fm}$ , который появлялся при хроматографическом разделении во фракции, соответствующей положению менделевия. По этим данным было установлено, что изотоп  $^{256}\text{Md}$  испытывает электронный захват с периодом полураспада порядка 0,5 часа, вслед за которым происходит деление  $^{256}\text{Fm}$  с периодом полураспада 2,7 часа. Это было смелое заключение при столь малой статистике, но получилось удивительное согласие с реальностью: в более поздних работах точные измерения дали значение  $T_{1/2}$  для  $^{256}\text{Md}$ , равное 1,5 часам.

Обратимся теперь к делящимся изомерам, открытым в Дубне в 1962 году. Усилиями ученых многих лабораторий мира /и в первую очередь Дубны, Копенгагена и Гейдельберга/ к настоящему времени их синтезировано более 30 с периодами полураспада от  $10^{-9}$  до  $10^{-2}$  сек. Во всех этих работах, по существу, использовалась та же методика, что и в дубненских экспериментах по поиску спонтанного деления ядер 104, 105 и 106 из основного состояния. Работы по изомерам, выполненные в одной лаборатории, зачастую перепроверялись в других лабораториях и, как правило, находили подтверждения. Ни у кого из авторов этих многочисленных работ не возникало сомнений в том, что факт синтеза новых изомеров и идентификация могут быть доказаны на основе детектирования их спонтанного деления.

Только группа Гиорсо-Сиборга из Беркли утверждает, что ничего нового нельзя идентифицировать, если детектировать спонтанное деление. И это несмотря на то, что, изучая альфа-распад изотопов  $^{259}\text{104}$  и  $^{261}\text{105}$ , берклиевская группа получила данные по периоду полураспада изотопов /3 сек для  $^{259}\text{104}$  и 1,8 сек для  $^{261}\text{105}$ /, совпадающие с нашими данными по спонтанному делению.

Критика Гиорсо и др. дубненской работы по курчатовию /104/ сводится к тому, что изотоп  $^{260}\text{104}$ , открытый в Дубне в 1964 году, по своему периоду полураспада /0,1 сек/ в 100 тысяч раз отклоняется от значения,

которое можно было предсказать, нарисовав для 104-го элемента зависимость  $T_{SF}$  от  $N$  /число нейтронов/, аналогичную зависимости для 100-го и 102-го элементов. При этом используется простейшая экстраполяция от известного в неизведанную область и не принимаются во внимание современные теоретические представления о сложной структуре барьера деления и об ожидаемом в этой связи изменении характера систематики.

Недавно мы сумели идентифицировать и изучить свойства спонтанного деления нескольких изотопов элемента 104. Мы смогли показать, что в действительности уже на 104-ом элементе характер изменения стабильности изотопов отличается от аналогичных зависимостей для более легких элементов. Итак, берклиевская экстраполяция оказалась целиком несостоятельной.

Таким образом, сопоставляя два подхода к проблеме синтеза на современном этапе, можно сказать, что в смысле информативности спонтанное деление представляется более предпочтительным процессом; в отношении фона имеются примерно сравнимые трудности в обоих методах - однозначность заключения зависит от постановки эксперимента, выбора условий опыта /мишень, частица/.

В настоящее время развиваются и другие подходы к идентификации трансурановых изотопов, такие, как измерение совпадений  $\alpha$ -частицы с  $KX$ -квантом дочернего ядра или же комбинация магнитного анализа ядер отдачи на пучке циклотрона с измерением времени пролета /т.е. без определения радиоактивных свойств/. Это лишнее раз доказывает беспредметность и бесплодность рассуждений о какой-то абстрактной надежности метода идентификации как такового.

Что касается перспектив, то спонтанное деление, будучи более многогранным процессом, на наш взгляд, займет основное место в проблеме идентификации и изучения сверхтяжелых элементов. Информация о кинетической энергии осколков деления этих элементов, числе нейтронов и  $\gamma$ -квантов, вылетающих при делении, рентгеновских лучах осколков и т.д. чрезвычайно важна для понимания

процесса деления и природы устойчивости сверхтяжелых элементов.

#### *Литература*

1. Г.Н.Флеров, И.Звара. Химические элементы второй сотни. Сообщение ОИЯИ, Д7-6013, Дубна, 1971.
2. К.А.Петржак, Г.Н.Флеров. ЖЭТФ, 10, 1013 /1940/.
3. Дж.Уилер. В сб. "Н.Бор и развитие физики", М., ИЛ., 1958, стр. 214.
4. Сборник "Открытия в СССР 1957-67 гг.", М., ЦНИИПИ, 1968.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
9 января 1975 года.*