

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P7-85-634

Г.М.Тер-Акопьян, Р.Н.Сагайдак, А.А.Плеве,
С.П.Третьякова, Г.В.Букланов, А.Г.Артюх,
А.М.Калинин

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА
КОРОТКОЖИВУЩЕГО СПОНТАННО ДЕЛЯЩЕГОСЯ
НУКЛИДА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ
В ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ $^{249}\text{Bk} + ^{15}\text{N}$

1985

ВВЕДЕНИЕ

Исследование спонтанного деления курчатовия привлекает внимание со времени его первого наблюдения в 1964 году /1/ и однозначной химической идентификации /выполненной в экспериментах в 1966-1969 гг. /2-4/ как тяжелого аналога гафния, то есть элемента с атомным номером $Z = 104$. Результаты этого исследования имеют принципиальное значение, так как в характере систематики парциальных периодов полураспада по отношению к спонтанному делению для четно-четных изотопов курчатовия было обнаружено резкое изменение по сравнению с закономерностью, ранее установленной для атомных ядер с $Z < 104$ /5/. Это явление было обнаружено к середине семидесятых годов в результате экспериментов, проведенных в Дубне /6, 7/. Новая систематика периодов полураспада оказала существенное влияние на расчеты времени жизни атомных ядер элементов с $Z \geq 104$ /8/. Она впервые продемонстрировала, что нет катастрофического падения времени жизни нуклидов с $Z > 104$ и, таким образом, дала основания для экспериментов по синтезу новых элементов, вплоть до элемента с атомным номером $Z = 109$ /см. /9, 10/.

В результате многолетних исследований, проведенных в Дубне и Беркли, было получено 10 изотопов курчатовия, изучалось их спонтанное деление и α -распад. Данные этих двух групп в основном согласуются между собой. Следует также отметить совпадение с результатами Дубны данных о легких изотопах курчатовия, полученных недавно группой в Дармштадте /см. /10/.

Лишь в отношении значения периода полураспада изотопа ^{260}Ku остается расхождение в данных, полученных в Дубне /100+50 мс /11/, 76+8 мс /12/ и в Беркли /23+2 мс /13/, 21+1 мс /14/, 26+7 мс /16/.. Это различие не имеет принципиального значения для наших представлений о свойствах изотопов курчатовия. Однако ввиду того, что оно выходит за пределы указанных в работах ошибок, возникает необходимость дополнительных экспериментов с целью выяснения причин этого разногласия.

Целью настоящей работы являлось измерение периода полураспада короткоживущего спонтанно делящегося нуклида, образующегося в реакции $^{249}\text{Bk} + ^{15}\text{N}$, канал которой $^{249}\text{Bk}(^{15}\text{N}, 4n)$ приводит к изотопу ^{260}Ku . Она была выбрана нами потому, что представляет практически единственную реакцию, для которой обеими группами /Друиным и др. /12/ в Дубне и Ничке и др. /13/ и Сомервиллем и др. /14/ в Беркли/ было выполнено измерение периода полураспада короткоживущего спонтанно делящегося продукта. Ранее /12, 15/

указанное различие результатов объяснялось тем, что в экспериментах, проведенных в Беркли, не учитывался вклад в полученные кривые распада спонтанно делящегося изомера ^{242m}Am ($T_{1/2} = 13,7$ мс). Однако в 1983 г. Хьюлет/16/ двумя независимыми способами показал, что при энергии ионов ^{15}N $E_{\text{лаб}} = 82$ МэВ, соответствующей максимальному выходу 20 мс нуклида в реакции $^{249}\text{Bk} + ^{15}\text{N}$, вклад ^{242m}Am в кривую распада пренебрежимо мал.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

При взаимодействии бомбардирующих ионов ^{15}N с мишенью из ^{249}Bk , кроме изотопов курчатовия, являющихся продуктами реакции полного слияния, образуется ряд продуктов реакций передачи. Спонтанное деление одного из них - ^{256}Fm , образующегося непосредственно в ядерной реакции, а также при электронном захвате ^{256}Md , создает значительные трудности при регистрации распада ^{260}Ku . Периоды полураспада ^{256}Md /1,3 ч/ и ^{256}Fm /2,6 ч/ сильно отличаются от периода полураспада ^{260}Ku . Однако поперечное сечение соответствующих реакций передачи, приводящих к образованию ^{256}Md , ^{256}Fm , составляет несколько сотен нанобарн и в максимуме функции возбуждения реакции $^{249}\text{Bk}(^{15}\text{N}, 4n)^{260}\text{Ku}$ превышает поперечное сечение этой реакции в десятки раз. Это приводит к необходимости принимать специальные меры для уменьшения фона спонтанного деления ^{256}Fm .

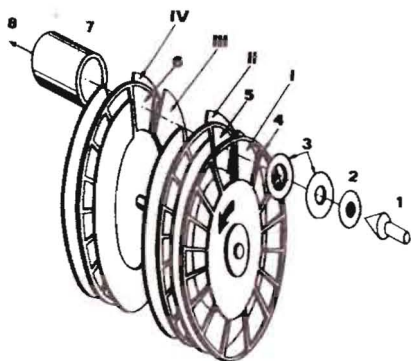


Рис.1. Схема установки. Цифрами обозначены: 1 - пучок ионов, 2 - мишень, 3 - коллиматоры ядер отдачи, 4 - диск-"маска", 5 - первый диск-сборник ядер отдачи, 6 - второй диск-сборник ядер отдачи, 7 - цилиндр Фарадея, подключенный к интегратору тока /8/. Римскими цифрами I-IV обозначены трековые детекторы осколков деления.

Эксперименты проводились с помощью установки, показанной на рис.1, детально описанной ранее /17/. Мишень из ^{249}Bk (2) облучалась пучком ионов ^{15}N (1) на циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Продукты реакций тормозились и собирались в алюминиевых фольгах, укрепленных на двух дисках (5) и (6) диаметром 30 см, установленных один за другим позади мишени. Оба

диска вращались с одинаковой скоростью и переносили продукты реакций к трековым детекторам осколков деления (I-IV), в качестве которых использовалась слюда /мусковит/ и лавсан /полиэтиленгликольтерефталат/. Детекторы регистрировали осколки деления с эффективностью ~0,8. Периоды полураспада короткоживущих нуклидов могли быть определены путем анализа распределения плотности треков осколков деления на детекторах.

Расстояние от мишени до первого диска равнялось 6,5 см, расстояние между дисками 1 см. Между мишенью и первым диском были помещены диафрагмы (3), которые исключали попадание на сборники продуктов реакций, летящих под углом $>12^\circ$ по отношению к оси пучка.

Толщина алюминиевых сборников (0,2 мг/см² на первом диске и 0,43 мг/см² на втором) была выбрана таким образом, чтобы в первом диске останавливалась большая часть продуктов реакций полного слияния, в то время как во втором диске тормозились в основном ядра менделевия и фермия, прошедшие через алюминиевую фольгу, установленную на первом диске.

Эффективность мер, принятых для уменьшения фона ^{256}Fm , была оценена на основании результатов экспериментов, в которых определялось распределение пробегов и угловое распределение $^{256}\text{Md} - ^{256}\text{Fm}$ при различных энергиях бомбардирующих ионов ^{15}N , падающих на берклиевую мишень.

В экспериментах применялась мишень, которая представляла собой слой окиси берклия диаметром 1,0 см, нанесенный на подложку из бериллиевой фольги толщиной 10 мкм. Толщина слоя определялась путем альфа-спектрометрии мишени и составляла 590 мкг/см². Примесь ^{249}Cf во время экспериментов не превышала 3% по весу.

Мишень зажималась между двумя медными кольцами и устанавливалась за входным коллиматором пучка, охлаждаемым водой. Такая конструкция мишенного узла, наряду с применением бериллиевой подложки, позволяла проводить эксперименты при интенсивности пучка $^{15}\text{N}^{7+}$ не менее 2 мкА. Объем камеры, в которой находились мишень и диски-сборники, откачивался до давления 10^{-5} Тор.

Начальная энергия ионов ^{15}N , ускоренных на циклотроне У-300, определялась с помощью магнитного спектрометра. Она равнялась 144 ± 1 МэВ. Энергия бомбардирующих ионов на слое ^{249}Bk уменьшалась до нужной величины с помощью стопки алюминиевых фольг, которые укреплялись на вращающемся диске, расположенном перед мишенью.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Берклиевая мишень облучалась ионами ^{15}N , энергия которых равнялась $76,5 \pm 1,5$ МэВ в лабораторной системе координат. Скорость вращения дисков, на которых находились алюминиевые фольги - сборники, равнялась 120 об/мин. Интегральный поток бомбар-

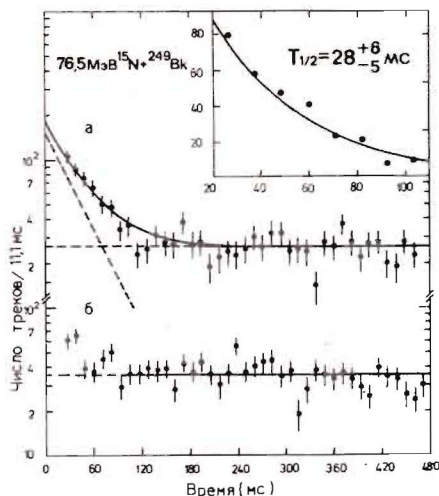


Рис.2. Кривые распада спонтанно делящихся активностей, полученные на детекторах I + II первого сборника /рис.2а/ и на детекторах III второго сборника/рис.2б/. Сплошными линиями и пунктиром показаны результаты обработки. На врезке рис.2а показана кривая распада короткоживущей активности, за вычетом долгоживущего фона, построенная в линейном масштабе.

дирующих ионов, прошедших через мишень за время опыта, составлял $1,7 \cdot 10^{17}$.

На рис.2 показано временное распределение треков осколков деления, зарегистрированных на детекторах первого и второго дисков и результаты обработки полученного распределения методом максимального правдоподобия/18,19/. Предполагалось наличие постоянного долгоживущего фона и одной короткоживущей компоненты. Результаты анализа приведены в таблице.

Таким образом, нами в реакции $^{249}\text{Bk} + ^{15}\text{N}$ наблюдался спонтанно делящийся продукт с периодом полураспада 28^{+6}_{-5} мс, близким полученному в Беркли/13,14,16/.

В чем причина расхождения настоящих результатов с данными работы Друина и др./12/? Существенное отличие настоящей методики от использовавшейся ранее/12/ состоит в отсутствии газа /гелия/ в пространстве между мишенью и сборником ядер отдачи. При наличии газа в этом пространстве часть атомов менделевия и фермия, вылетевших из мишени, по-видимому, останавливалась в газе. Значительное число остановившихся атомов могло быть увеличено газовым потоком, образующимся при движении ленты, транспортирующей ядра отдачи к трековым детекторам осколков деления. Часть этих атомов, по-видимому, осаждалась на поверхности детекторов, и их распад искажал распределение треков осколков деления вдоль направления движения ленты-сборника*.

* На возможность искажения распределения треков осколков деления, связанную с торможением части атомов ^{256}Md в гелии и их осаждением на поверхности детекторов, указывалось в работе Гиорсо/21/.

Таблица

Номер диска	Номер детектора	Временной диапазон регистрации активностей (мс)	$T_{1/2}$ короткоживущей компоненты (мс)	Число треков короткоживущей компоненты, N_S^a	σ короткоживущей компоненты (нс)	Число треков долгоживущего фона, N_L^a	σ (^{256}Md) (нс)
I	I	32-468	$28,7^{+10,3}_{-7,2}$	155^{+35}_{-30}	$2,3^{+1,3}_{-0,8}$	590^{+30}_{-35}	23 ± 1
	II	21-476	$21,5^{+6,7}_{-5,0}$	132^{+25}_{-23}	$1,8^{+0,7}_{-0,6}$	426^{+23}_{-25}	17 ± 1
	I + II	21-476	$28,0^{+5,8}_{-4,6}$	327^{+42}_{-41}	$1,8^{+0,5}_{-0,4}$	1031^{+41}_{-42}	20 ± 1
2.	III	21-476	< 90	≤ 86	≤ 1	1474^{+86}	~ 60

Примечания: а/ Погрешности в величинах $T_{1/2}$, N_S и N_L приведены для уровня правдоподобия $\Delta L = 1,0$, что примерно соответствует 63% уровню надежности/20/. б/ Поперечное сечение вычислено для ядер отдачи, образующихся в реакции $^{249}\text{Bk}(^{15}\text{N}, 4n)^{260}\text{Ku}$ с учетом торможения их в мишени. Ошибки в приводимых величинах обусловлены только статистическими погрешностями в $T_{1/2}$ и N_S . в/ Поперечное сечение вычислено в предположении, что долгоживущий фон целиком обусловлен образованием и распадом ^{256}Md . Считалось, что для ядер отдачи ^{256}Md работает вся толщина мишени.

Возникает вопрос об идентификации 20 мс активности спонтанного деления. Имеющиеся результаты позволяют предположить, что эта активность связана со спонтанным делением изотопа ^{260}Ku . Аргументы в пользу такой идентификации приведены в работе/14/. В пользу такого предположения свидетельствуют также соотношения сечений, полученных с первого и второго дисков, которые указывают на соответствие пробегаов ядер отдачи 20 мс активности расчетному пробегу компаунд-ядра. В самом деле, распад 20 мс активности наблюдался в условиях данного эксперимента в основном только на детекторах первого диска. Сечение образования этой активности в пределах ошибок совпадает с расчетной величиной для реакции $^{249}\text{Bk}(^{15}\text{N}, 4n)^{260}\text{Ku}$ и несколько меньше наблюдаемой величины для 20 мс активности, полученной в Беркли/13,14/.

Вместе с тем в/14/ приведены результаты, которые, по мнению авторов, говорят о существовании двух излучателей спонтанного деления с близкими периодами полураспада ~ 20 мс/, один из которых, предполагается, имеет $Z < 104$. В связи с этим следует отметить, что в работе Бимиса и др./22/ содержится указание на существование 20 мс спонтанно делящегося нуклида с $Z = 103$. Если такой нуклид действительно существует, возникает вопрос о том, каков его вклад в кривую распада, зарегистрированную для реакции $^{249}\text{Bk} + ^{15}\text{N}$, и, соответственно, какую часть наблюдавшегося выхода 20 мс активности можно отнести за счет ^{260}Ku ?

Ответы на эти вопросы, возможно, удастся получить в результате измерения зависимости поперечного сечения реакции, приво-

дядей к образованию 20 мс активности, от энергии бомбардирующих ионов. Нам не удалось провести такое измерение, так как применявшаяся методика не обеспечивала достаточного подавления фона ^{256}Fm при энергии $^{15}\text{N} > 76,5$ МэВ. Однако реакция $^{249}\text{Bk} + ^{15}\text{N}$, с нашей точки зрения, не является оптимальной для измерения функции возбуждения. Как видно из результатов работ [13, 14], эксперименты в этом случае осложняются не только высоким уровнем фона ^{256}Fm , но также наложением фона других короткоживущих излучателей.

В связи с этим представляется необходимым тщательное изучение различных перекрестных реакций, которое будет содействовать выяснению природы 20 мс излучателя с $Z < 104$, если таковой действительно существует. Оно также позволит выбрать комбинации мишеней и бомбардирующих ионов, для которых будет возможно получение колоколообразной функции возбуждения, характерной для реакции испарения нейтронов из компаунд-ядра. Получение такой функции возбуждения могло бы служить дополнительным основанием для идентификации 20 мс нуклида как изотопа ^{260}Ku . Отметим, что возможности этого метода идентификации были показаны в экспериментах по синтезу элементов с атомными номерами 102 и 103 [23, 24].

Авторы признательны Г.Н.Флерову за постановку задачи, постоянное внимание и поддержку в ходе ее выполнения. Они благодарны Ю.Ц.Оганесяну за полезные обсуждения и замечания, В.М.Николаеву и В.Н.Косякову - за проведенную химическую работу с берклием, Л.В.Джолос и К.И.Меркиной - за обработку и просмотр детекторов осколков деления, Н.В.Пронину - за обеспечение надежной работы ускорителя при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. АЭ, 1964, т.17, с.310.
2. Звара И. и др. АЭ, 1966, т.21, с.83.
3. Звара И. и др. Радиохимия, 1969, вып.2, с.163.
4. Zvara I. et al. J.Inorg.Nucl.Chem., 1970, vol.32, p.1885.
5. Oganessian Yu.Ts., Lazarev Yu.A. In: Treatise on Heavy-Ion Science. (Ed. by D.A.Bromley). Plenum Press, New York and London, 1985, vol.4, p.3.
6. Флеров Г.Н. и др. Труды Межд.конф. по физике тяжелых ионов. ОИЯИ, Д7-5769, Дубна, 1971, с.125.
7. Oganessian Yu.Ts. Nucl.Phys., 1975, vol.A239, p.157.
8. Randrup J. et al. Phys.Rev., 1976, vol.C13, p.229; Baran A. et al. Nucl.Phys., 1981, vol.A361, p.83.
9. Oganessian Yu.Ts. et al. JINR, E2-84-651, Dubna, 1984.
10. Armbruster P. Ann.Rev.Nucl.Part.Sci., 1985, vol.35, p.135.
11. Оганесян Ю.Ц. и др. АЭ, 1970, т.28, с.393.

12. Друин В.А. и др. АЭ, 1977, т.43, с.155.
13. Nitschke J.M. et al. Nucl.Phys., 1981, vol.A352, p.138.
14. Somerville L.P. et al. Phys.Rev., 1985, vol.C31, p.1801.
15. Демин А.Г. и др. Тезисы докладов на Международном симпозиуме по синтезу и свойствам новых элементов. ОИЯИ, Д7-80-556, Дубна, 1980, с.25.
16. Hulet E.K. Proc. Int.School-Seminar on Heavy Ion Physics. JINR, D7-83-644, Dubna, 1983, p.431.
17. Лобанов Ю.В. и др. Авт.свид.СССР № 903779 от 19.08.80 г. Бюл. ОИ, 1982, № 5, с.199.
18. Zlokazov V.B. Nucl.Instr. and Meth., 1978, 151, p.303.
19. Eggers R.C., Somerville L.P. Nucl.Instr. and Meth., 1981, 190, p.535.
20. Худсон Д. Статистика для физиков. "Мир", М., 1967, с.134.
21. Ghiorso A. In: Proc. of 3rd Int.Conf. on Nuclei Far from Stability. Cargese, Corsica, France, 1976. CERN 76-13, Geneva, 1976, p.548.
22. Bemis C.E. et al. Phys.Rev., 1977, C16, p.1146.
23. Донец Е.Д. и др. ЯФ, 1965, т.2, с.1015; Михеев В.Л. и др. АЭ, 1967, т.22, с.90.
24. Донец Е.Д. и др. АЭ, 1965, т.19, с.109; Flerov G.N. et al. Nucl.Phys., 1967, vol.106A, p.476.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 августа 1985 года.