

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ДУБНА

P7 - 4932

Г.Н. Флеров, Ю.Ц. Оганесян, Ю.В. Лобанов,  
Ю.А. Лазарев, С.П. Третьякова

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ  
103 И 105 ЭЛЕМЕНТОВ

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Заказ 10857. 11 Тираж 486. Уч.-изд. листов 0,6.  
Редактор Б.Б. Колесова. Февраль 1970 г.

Флеров Г.Н., Оганесян Ю.П., Лобанов Ю.В., Р7-4932  
Лазарев Ю.А., Третьякова С.П.

Сpontaneous деление изотопов 103 и 105 элементов

Исследовалось образование спонтанно делящихся ядер при облучении  $^{243}\text{Am}$  нейтронами  $^{16}\text{O}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с энергией 95 и 119 Мэв соответственно. Показано, что для изотопов 103 элемента с массовыми числами 256 и 257 период спонтанного деления больше  $10^5$  сек.

В реакции  $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$  обнаружен излучатель осколков спонтанного деления с периодом полураспада  $\approx 2$  сек; его выход соответствует сечению  $10^{-34}$  см $^2$ .

Специальные контрольные эксперименты, а также анализ других возможных реакций позволяют предположить, что наблюдалось спонтанное деление 105 элемента, образующегося в реакции



Сообщения Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1970

Flerov G.N., Oganessian Yu.P., Lobanov Yu.V., Р7-4932  
Lazarev Yu.A., Tretjakova S.P.

Spontaneous Fission of the Isotopes of Elements 103 and 105

Production of spontaneously fissionable nuclei in bombarding  $^{243}\text{Am}$  with  $^{16}\text{O}$  and  $^{22}\text{Ne}$  ions (with the energies 95 and 119 MeV, respectively) was investigated.

It is shown that for 103 isotopes with the mass numbers 256 and 257 the period of spontaneous fission is more than  $10^5$  s.

In the reaction  $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$  an emitter of the spontaneous fission fragments with the half-life of about 2 s was observed; its yield corresponds to the cross section  $10^{-34}$  cm $^2$ .

Special check experiments as well as the analysis of other possible reactions allow one to assume that the spontaneous fission of element 105 produced in the reaction  $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, \alpha n) ^{265-105}$  was observed.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1970

Р7 - 4932

Г.Н. Флеров, Ю.П. Оганесян, Ю.В. Лобанов,  
Ю.А. Лазарев, С.П. Третьякова

СПОНТАННОЕ ДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ  
103 И 105 ЭЛЕМЕНТОВ

В 1968 году в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ были проведены эксперименты по синтезу элемента с атомным номером 105.

При облучении мишени из  $^{243}\text{Am}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$  наблюдалась образование короткоживущих  $\alpha$ -излучателей с энергией 9,4 и 9,7 Мэв и периодами полураспада  $0,1 < t_{1/2} < 3$  сек. и  $t_{1/2} > 0,01$  сек. соответственно  $1/\lambda$ . Выход новых излучателей был очень мал и соответствовал сечению ядерной реакции синтеза  $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, 4-5n)^{260,261}\text{105}$  примерно  $10^{-34}$  см $^2$ . Расчетное значение сечения этой реакции на основе известных данных по  $\Gamma_n/\Gamma_\alpha$  в этой области элементов значительно выше и составляет  $\approx 10^{-33}$  см $^2$ .

На основе анализа схем распада известных  $\alpha$ -активных ядер с нечетным числом нуклонов можно предполагать, что основная доля  $\alpha$ -распада изотопов элемента 105 приходится на возбужденные уровни дочерних изотопов и что наиболее интенсивные  $\alpha$ -линии, принадлежащие  $^{260,261}\text{105}$ , нужно искать в более мягкой части  $\alpha$ -спектра ( $E_\alpha < 9,1$  Мэв). Вместе с тем не исключено, что наблюдаемые короткоживущие  $\alpha$ -излучатели принадлежат одному изотопу 105 элемента, в то время как группа  $\alpha$ -частиц с энергией 8,8-9,0 Мэв соответствует распаду другого изотопа, который должен иметь существенно больший период полураспада. Однако в этот интервал энергий попадают также  $\alpha$ -частицы от распада радиоактивных ядер, образующихся в результате реакции на микропримесях свинца в Am-мишени  $^{22}\text{Ne}$ . Поэтому, несмотря на то, что была проведена большая работа по очистке мишени от свинца, анализ этой части спектра был сильно затруднен.

С другой стороны, из последних экспериментальных данных по изменению свойств изотопов с  $Z = 100, 102$  и  $104$ , следует, что с возрастанием атомного номера резко уменьшается стабильность ядер по отношению к спонтанному делению.

Принимая во внимание все сказанное выше, можно было предполагать, что образующиеся в реакции  $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}, \text{xn})^{265-x}105$  ядра будут, наряду с  $\alpha$ -распадом, в заметной доле случаев испытывать спонтанное деление. Поэтому нами были поставлены эксперименты по поискам спонтанного деления изотопов  $105$  элемента. Отметим также, что чувствительность методики к регистрации осколков деления существенно выше, чем к  $\alpha$ -распаду, и условия опыта относительно фона значительно лучше. Эксперименты проводились на установке, описанной нами в работе /3/.

Мишень из  $^{243}\text{Am}$  толщиной  $0,9 \text{ мг/см}^2$  и площадью  $4,5 \text{ см}^2$  бомбардировалась пучком ионов  $^{22}\text{Ne}$  интенсивностью  $\approx 20 \text{ мкА}$ . Энергия ионов была выбрана равной  $119 \text{ МэВ}$ , что позволяло получать одновременно два изотопа  $105$  элемента в реакциях  $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}; 4\text{n}, 5\text{n})^{261, 260}105$ . Продукты реакции попадали на сборник в виде "бесконечной" Ni-ленты толщиной  $50 \text{ мк}$  и длиной  $8 \text{ м}$ , движущейся с линейной скоростью  $78 \text{ см/сек}$ . Вдоль всей длины ленты располагались детекторы осколков деления из фосфатного стекла, которые после опыта подвергались специальной обработке и просматривались под микроскопом /4/. Чувствительность аппаратуры была такова, что появление одного трека осколка на детекторах за время опыта ( $\approx 50$  часов) соответствует образованию спонтанно делющегося излучателя с сечением  $\approx 2 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2$ .

В первом опыте при  $70$ -часовом облучении  $^{243}\text{Am}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$  с энергией и интенсивностью, указанной выше, во временном интервале  $0,2 \leq t \leq 10$  сек было зарегистрировано  $58$  осколков деления, распределенных по времени так, как это представлено на рис. 1. Оценки периода полураспада дают величину около  $2$  сек. Сечение образования нового спонтанного излучателя составляет  $\approx 10^{-34} \text{ см}^2$ .

Попытаемся проанализировать все возможные реакции, которые могут привести к образованию ядра, испытывающего спонтанное деление с  $t_{1/2} \approx 2$  сек. В настоящее время известно большое количество изотопов

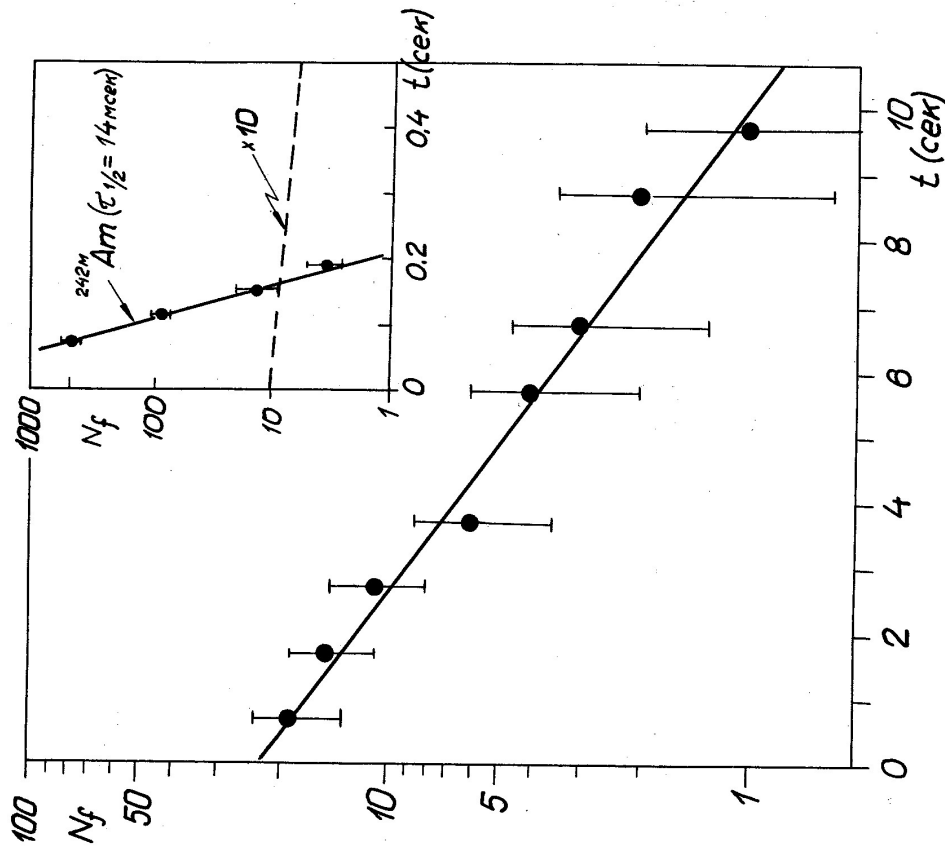


Рис.1. Распределение по времени осколков спонтанного деления, зарегистрированных при облучении  $^{243}\text{Am}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$ . Верхний рисунок соответствует временному интервалу от 0 до  $0,5$  сек.

$\sigma(\text{H.L.}; \text{p}, \text{xn}) < \frac{1}{50}$ . Поэтому ожидаемое сечение образования изотопов  $^{104}\text{эле-}$   
 $\sigma(\text{H.L.}; \text{x n}) < 50$ . Поэтому ожидаемое сечение образования изотопов  $^{104}\text{эле-}$   
 мента в реакции  $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne}; \text{p}, \text{xn})$   $^{264}\text{Am}$  будет  $< 2 \cdot 10^{-35} \text{ см}^2$ , что  
 существенно меньше наблюдаемого эффекта. В нашем случае это следует  
 непосредственно из опытных данных, представленных на рис. 1, где от-  
 сутствует спонтанное деление курчагов с известным периодом полурас-  
 пада  $\tau_{1/2} = 0,1 \text{ сек} / 3/$ .

Вылет  $\alpha$ -частицы с последующим испарением нейтронов ( $^{22}\text{Ne}, \alpha, \text{xn}$ )  
 должен приводить к образованию изотопов  $^{103}\text{эле-}$  мента, спонтанное деле-  
 ние которых не исследовалось. В связи с этим нами были поставлены пра-  
 мы эксперименты по определению парциальных сечений спонтанного де-  
 ления изотопов  $^{266}\text{Am}$  и  $^{267}\text{Am}$ .

Мишень из  $^{243}\text{Am}$  бомбардировалась ионами  $^{18}\text{O}$  с интенсивностью  
 $\approx 20 \text{ мка}$ . Энергия ионов была выбрана равной  $95 \text{ Мэв}$ , что позволило  
 одновременно исследовать спонтанное деление двух изотопов, образующих-  
 ся в реакции  $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}; 4\text{n}, 5\text{n})$   $^{267,266}\text{Am}$ . Сечение реакций извест-  
 но из экспериментальных данных по определению радиоактивных свойств  
 этих ядер и составляет  $\approx 3 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2 / 9/$ . В течение  $15$ -часового облу-  
 чения не было зарегистрировано ни одного осколка спонтанного деления,  
 и это означает, что  $\sigma_{\text{сп}} < 10^{-35} \text{ см}^2$ . Принимая во внимание известные  
 значения времени жизни этих ядер по отношению к  $\alpha$ -распаду ( $\tau_{1/2\alpha} =$   
 $= 35 \text{ сек}$  для обоих изотопов), можно указать нижнюю границу периода  
 полураспада по отношению к спонтанному делению, которая составляет  
 $\tau_{\text{сп}} > 10^5 \text{ сек}$ .

Возвращаясь к результатам наших опытов по облучению  $^{243}\text{Am}$   
 ионами  $^{22}\text{Ne}$ , мы приходим к выводу, что реакции  $^{22}\text{Ne}, \alpha, 5\text{n}$  и  $^{22}\text{Ne}, \alpha, 4\text{n}$   
 не могут объяснить наблюдаемую активность.

В реакциях  $^{22}\text{Ne}, \alpha, 3\text{n}$  и  $^{22}\text{Ne}, \alpha, 2\text{n}$  образуются тяжелые изо-  
 топы  $^{103}\text{эле-}$  мента с массовыми числами  $258$  и  $259$  с неизвестными свой-  
 ствами. Однако трудно предполагать, чтобы нечетно-нечетный соседний  
 изотоп  $^{283}\text{Am}$  испытывал спонтанное деление с  $\tau_{1/2} \approx 2 \text{ сек}$ . Нечетно-  
 четный изотоп  $^{289}\text{Am}$  с числом нейтронов  $N = 156$  удален от извест-  
 ной подболожки  $N = 152$  на  $4$  массовые единицы.

в области  $U$ - $\text{см}$  с аномально короткими периодами полураспада относи-  
 тельно спонтанного деления от  $10^{-8}$  до  $10^{-2} \text{ сек} / 5/$ . Такие ядра могут  
 образовываться в нашем случае с большим сечением в результате реак-  
 ций многоуклонного обмена  $/6/$  (см., например, образование  $^{242\text{m}}\text{Am}$   
 на рис. 1).

Чтобы выяснить, не является ли наблюдаемый излучатель пред-  
 ставителем этой области ядер, мы использовали коллимационный ме-  
 тод, который применялся ранее в опытах по изучению механизма образо-  
 вания курчагов  $/3,7/$ .

Между  $^{243}\text{Am}$ -мишенью, заключенной в медную сетку толщиной  $\delta_0 =$   
 $= 1 \text{ мм}$  с диаметром отверстий  $d = 2 \text{ мм}$  ( $k = \frac{\delta_0}{d} = 0,5$ ), и сборником  
 ядер отдачи помещался дополнительный коллиматор толщиной  $\delta_1 = 4 \text{ мм}$   
 $(k_1 = \frac{\delta_0 + \delta_1}{d} = 2,5)$  и измерялся выход излучателя  $\tau_{1/2} = 2 \text{ сек}$  при коллима-  
 ции  $k_0 = 0,5$  и  $k_1 = 2,5$ .

Если наблюдаемый излучатель образуется в результате слияния взаимо-  
 действующих ядер (составное ядро), то отношение выходов должно быть  
 равным  $2 / 3/$ .

Для продуктов реакций многоуклонного обмена это отношение при  
 заданных кинематических условиях, как следует из работ  $/3,7/$ , состав-  
 ляет  $5$  или  $6$ .

Измерения, проведенные для излучателя  $\tau_{1/2} = 2 \text{ сек}$  в реакции

$$^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne} \rightarrow \text{ядра} + \text{нейтроны} \quad \frac{N_{k_0}}{N_{k_1}} = 2,2 \pm 0,5. \text{ Отношение выхода для ядер}$$

$^{242\text{m}}\text{Am}$  ( $\tau_{1/2} = 14 \text{ мсек}$ ), наблюдаемых в этих же опытах, составляет

$$\frac{N_{k_0}}{N_{k_1}} = 5,0 \pm 0,5. \text{ Из этих результатов следует, что наблюдаемый излу-}$$

чатель спонтанного деления не является продуктом реакций многоуклон-  
 ных передел.

Вместе с тем ядра, испытывающие спонтанное деление ( $\tau_{1/2} = 2 \text{ сек}$ ),  
 могут быть в принципе изотопами элементов с атомными номерами  $104$ ,  
 $103$  или  $102$ , образующимися в реакциях неполного слияния типа  $(^{22}\text{Ne}, \text{p}, \text{xn})$ ;  
 $(^{22}\text{Ne}, \alpha, \text{xn})$ ;  $(^{22}\text{Ne}, \alpha, \text{p}, \text{xn})$ . В этом случае возможен иной метод ана-  
 лиза. Отношение сечения реакций с вылетом протона к сечению реакции  
 с испусканием нейтронов составляет, как было показано в работах  $/3,8/$ ,

Нам представляется маловероятным, что период спонтанного деления при добавлении двух нейтронов к ядру  $^{257}_{103}\text{Am}$  может измениться в  $10^4$ - $10^5$  раз. Кроме того, сечение реакций  $(\text{H.I.}; \alpha, \text{xp})$  резко падает с уменьшением числа нейтронов. Это непосредственно следует из наших экспериментов по облучению  $^{243}\text{Am}$  ионами  $^{18}\text{O}$ . Отсутствие осколков спонтанного деления в опытах означает, что сечение реакции  $^{243}\text{Am}(\text{O}, \alpha, \text{n}) \rightarrow ^{256}\text{Md} \rightarrow ^{256}\text{Fm}$  ( $\tau_{s, f} = 2, 7$  часа) меньше чем  $4 \cdot 10^{-35}$  см<sup>2</sup>. Сравнивая эту величину с сечением реакции  $^{243}\text{Am}(\text{O}, \alpha, \text{n}) \rightarrow ^{257, 258}\text{Am}$ , можно указать, что  $\frac{\sigma(\text{H.I.}; \alpha, \text{n})}{\sigma(\text{H.I.}; \text{xp})} < 10^{-3}$ . Таким образом, в реакциях ( $^{22}\text{Ne}, \alpha, \text{xp}$ ) не может, как нам кажется, образовываться спонтанно делящийся излучатель с  $\tau_{1/2} = 2$  сек. Реакции ( $^{22}\text{Ne}; \alpha, \text{p}, \text{xp}$ ) являются очень маловероятными при заданной энергии ионов, к тому же при всех  $x > 1$  образуются хорошо изученные изотопы 102 элемента, ни одним из которых не может быть объяснено наблюдаемое спонтанное деление с  $\tau_{1/2} = 2$  сек.

Рассматривая в совокупности полученные результаты, нам представляется, что наблюдаемый в реакции  $^{248}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$  продукт, испытывающий спонтанное деление с периодом около 2 сек, является изотопом 105 элемента, который образуется в реакции полного слияния с последующим вылетом нейтронов из возбужденного составного ядра  $^{265}_{105}$ .

Следует отметить, что дополнительная и более достоверная идентификация атомного номера нового излучателя может быть получена с помощью экспрессной радиохимической методики, которая использовалась в опытах по синтезу и изучению химических свойств курчатовия /10/.

В связи с тем, что при облучении  $^{243}\text{Am}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$  вероятность образования ядер с  $Z = 104$ , как указывалось ранее, составляет малую величину, сам факт наблюдения спонтанного деления с  $\tau_{1/2} = 2$  сек в изотопах трансактинидных элементов однозначно свидетельствовал бы о том, что наблюдаемый излучатель спонтанного деления имеет  $Z = 105$ .

Авторы благодарны кандидату физико-математических наук В.А. Друину за ценные замечания при обсуждении экспериментальных данных, а также И.В. Колесову, В.М. Плотко и Ю.В. Полубояринову за большую помощь в наладке установки и проведении опытов.

Мы благодарны группе эксплуатации ускорителя, руководимой

Б.А. Загером, за получение интенсивных пучков ионов, а также Т.И. Рыбаковой, К.И. Меркиной и А.В. Сергеевой за большой труд по просмотру стеклянных детекторов осколков деления.

#### Л и т е р а т у р а

1. Г.Н. Флеров, В.А. Друин, А.Г. Демин, Ю.В. Лобанов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Акатьев, Б.В. Фелилов, И.В. Колесов, К.А. Гаврилов, Ю.П. Харитонов, Л.П. Челноков. Препринт ОИЯИ Р7-3808, Дубна, 1968.
2. Г.Н. Акатьев, В.А. Друин, В.И. Рудь, Г.Я. Сун-Цзин-Ян. Препринт ОИЯИ Р7-4772, Дубна, 1969.
3. Ю.Ц. Оганесян, Ю.В. Лобанов, С.П. Третьякова, Ю.А. Лаазарев, И.В. Колесов, К.А. Гаврилов, В.М. Плотко, Ю.В. Полубояринов. Препринт ОИЯИ Р7-4797, Дубна, 1969.
4. А. Капусник, В.Л. Перельгин, С.Л. Третьякова. ПТЭ, Б, 72 (1964).
5. S.M. Polikanov, G. Sletten, Physics and Chemistry of Fission Symposium, Vienna 1969. N.L.Lark, G. Sletten, J. Pedersen and S. Bjornholm. Nucl. Phys., A139, 481 (1969).
6. Ю.Ц. Оганесян, Ю.Э. Пеннонжквич, Со Ки Хван, А.О. Шамсутдинов, Н.С. Мальцева, И.И. Чубуркова. Препринт ОИЯИ Р7-4637, Дубна, 1969.
7. В.А. Друин, Ю.В. Лобанов, Ю.П. Харитонов. Препринт ОИЯИ Р7-4681, Дубна, 1968.
8. В.А. Друин. Препринт ОИЯИ Р-874, Дубна, 1962.
9. E.D. Donets, V.A. Druin, V.L. Mikheev. Ann. Phys., 3, 331, 1968. Е.Д. Донец, В.А. Шеголев, В.А. Ермаков. АЭ, 19, 109 (1966).
10. И. Звара, Ю.Т. Чубурков, Р. Цалетка, Т.С. Зварова, М.Р. Шалаевский, Б.В. Шиллов. АЭ, 21, 2, 83 (1966).

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 февраля 1970 года.