

Р7 - 5108

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

ИЗУЧЕНИЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ
СПОНТАННО ДЕЛЯЩЕГОСЯ ИЗОТОПА
105 ЭЛЕМЕНТА

Флеров Г.И., Оганесян Ю.И., Лобанов Ю.В., Лазарев Ю.А.,
Кузнецов В.И., Третьякова С.П. P7-5108

Исследования закономерностей образования спонтанно
делящегося изотопа ^{105}Am

Исследована функция возбуждения спонтанно делящихся изотопов
 ^{102}Am и ^{105}Am элементов при облучении ^{235}U и ^{239}Pu ускоренными пучками
нейтронов- ^{22}Ne .

Показано, что наблюдающиеся ранее спонтанно делящийся изотоп ^{105}Am
элемента с $T_{1/2} = 2,2 \pm 0,5$ сут. имеет функцию возбуждения с максимумом
при энергии кванта 117 MeV и шириной на полувысоте 8 MeV . Из совокуп-
ности экспериментальных данных следует, что эту функцию образует
ся в реакции полного слияния с последующим испарением нейтронов из
возбужденного составного ядра ^{239}Pu . Выход изотопа, определенная по
ветви спонтанного деления, в максимуме функции возбуждения соответст-
вует значению $(5,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований

Дубна, 1970

Petrov G.I., Oganessian Yu.I., Lobanov Yu.V., Lazarev Yu.A.,
Kuznetsov V.I., Tretyakova S.P. P7-5108

Investigation of the Regularities of the Production of
Spontaneously Fissionable Isotope ^{105}Am

Excitation functions of spontaneously fissionable isotopes of
elements ^{102}Am and ^{105}Am were studied in bombarding ^{235}U and ^{239}Pu
by accelerated Ne^{22} ions.

It is shown that previously observed spontaneously fissionable
element ^{105}Am isotope with $T_{1/2} = 2,2 \pm 0,5$ s has the excitation function
with the maximum at the ion energy of 117 MeV and the width on
the half-height of 8 MeV . It follows from the totality of experimental
data that this emitter is produced in the complete fusion reaction
with the posterior evaporation of neutrons from the excited compound
nucleus of ^{239}Pu . Isotope yield, determined according to the branch
of spontaneous fission, in the maximum of the excitation function cor-
responds to the $(5,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2$ cross section.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research

Dubna, 1970

В конце 1969 года нами были проведены первые эксперименты по поиску спонтанного деления изотопов ^{105}Am [1]. При облучении мишени ^{243}Am ионами ^{22}Ne был обнаружен излучатель осколков спонтанного деления с периодом полураспада около 2 сек. Для того, чтобы ограничить круг реакций, которые могут привести к образованию ядер с подобными свойствами, использовался коллимационный метод [2], применявшийся ранее при изучении механизма образования курчаговия [3]. Наряду с этим были определены экспериментально верхние границы парциальных периодов полураспада относительно спонтанного деления изотопов ^{103}Am с массовыми числами 256 и 257, а также проведена серия опытов, на основе которых был дан анализ многих других возможных реакций. Все эти результаты изложены в работе [1].

Исходя из этих результатов, а также экспериментальных данных, полученных ранее при изучении свойств изотопов с $Z = 102, 103$ и ^{104}Am , мы пришли к заключению, что спонтанно делящийся продукт с $T_{1/2} \sim 2$ сек. образуется в реакции полного слияния взаимодействующих ядер и поэтому имеет атомный номер ^{105}Am .

В настоящей работе, для дополнительной идентификации нового изотопа с $T_{1/2} \sim 2$ сек., исследовалась зависимость сечения его образования от энергии бомбардирующих ионов ^{22}Ne . При облучении ^{243}Am ионами ^{22}Ne изотопы ^{105}Am могут быть получены только в реакции, приводящей к образованию возбужденного составного ядра с последующим испарением нейтронов. Известно, что если такой процесс имеет место, то, согласно статистической модели, зависимость выхода изотопа с данным массовым числом от энергии возбуждения составного ядра имеет характерное распределение, близ-

составляет, по нашим оценкам, величину не более 2 Мэв. Мониторирование потока ионов производилось по наведенной γ -радиоактивности от распада ^{75}Se ($\tau_{1/2} = 120$ дн. $\epsilon_{\gamma} = 121, 136, 265, 280$ и 401 кэв) [8], образующегося при взаимодействии ^{22}Ne с Ni лентой-сборником ядер отдачи.

На рис. 2 представлена функция возбуждения для реакции $^{235}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 5n)^{252}\text{I}02$. Экспериментальные точки хорошо согласуются с расчетным распределением (пунктирная кривая). Положение максимума кривой соответствует энергии ионов $^{117}\text{Mэв}$, ширина на полувысоте составляет 11 Мэв. Величина сечения, соответствующая максимуму функции возбуждения, составляет $(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-32}$ см² для ветви спонтанного деления. Для определения положения кривой относительно кулоновского барьера реакции нами было измерено также в рабочих условиях сечение деления $^{235}\text{U} (^{22}\text{Ne}, f)$, которое в этой области энергий практически совпадает с сечением образования составного ядра [9]. Зависимость $\sigma_f(E_i)$ хорошо согласуется с расчетным значением [10] и экспериментальными данными работы [11]. При энергии кулоновского барьера $E_{\text{кул}} = 104$ Мэв (что соответствует сечению деления $\sigma_f = 10$ мб) максимум функции возбуждения реакции $^{235}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 5n)^{252}\text{I}02$ смещен относительно барьера на величину 14 Мэв, что также хорошо согласуется с расчетным значением.

В последующих экспериментах для измерения функции возбуждения изотопа с $\tau_{1/2} \sim 2$ сек. мишень ^{235}U была заменена на мишень из ^{243}Am ($^{243}\text{Am} - 97\%$, $^{241}\text{Am} - 3\%$) толщиной 980 мкг/см² и площадью $4,5$ см². Все остальные условия опыта (скорость движения ленты, набор Al - поглотителей, интенсивность пучка и т.д.) были такими же, как в опытах по изучению реакции

кое к гауссовской кривой. Так как заряд, масса и энергия возбуждения составного ядра хорошо определены, то положение максимума и ширина кривой возбуждения свидетельствуют о количестве испарившихся нейтронов, а следовательно, и о массовом числе конечного продукта [4]. Однако из-за наличия высокого кулоновского барьера реакции и большой делимости составного ядра ($\Gamma_n/\Gamma_f \ll 1$) функции возбуждения в действительности оказываются заметно искаженными по сравнению с тем, что имеет место для неделяющихся ядер.

Поэтому при анализе экспериментальных результатов мы будем пользоваться данными полумпирических расчетов, проведенных в работе [5].

Для сопоставления экспериментальных и расчетных данных был поставлен модельный опыт по измерению функции возбуждения изотопа $^{252}\text{I}02$, образующегося в реакции $^{235}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 5n)^{252}\text{I}02$. Свойства изотопа $^{252}\text{I}02$ хорошо известны: согласно [3,6], он примерно в $1/3$ доле случаев распадается испытывает спонтанное деление с периодом $2,4 \pm 0,2$ сек. Эксперименты проводились на установке, описанной ранее в работе [3].

Мишень из ^{235}U ($^{235}\text{U} - 89,8\%$; $^{234}\text{U} - 1,3\%$) толщиной 990 мкг/см² и площадью $4,5$ см² бомбардировалась пучком ионов ^{22}Ne интенсивностью $\sim 5 \cdot 10^{12}$ $\frac{\text{част}}{\text{сек}}$. Продукты реакции попадали на сборник в виде "бесконечной" никелевой ленты толщиной 50 микрон и длиной 8 м, движущейся со скоростью 28 см/сек. (рис. 1). Осколки деления регистрировались с помощью специальных фосфорных стекол, расположенных вдоль всей длины ленты. После облучения стекла подвергались химической обработке и определялось число треков осколков спонтанного деления [7].

Энергия ионов ^{22}Ne варьировалась в пределах $110-140$ Мэв с помощью алюминиевых поглотителей. Энергетический разброс ионов

^{235}U (^{22}Ne , $5n$) $^{252}\text{I}_{02}$.

Энергия ионов ^{22}Ne варьировалась от 110 до 130 Мэв. Общее число зарегистрированных осколков составляло ~ 300 ; их временное распределение представлено на рис. 3. Из рисунка видно, что период полураспада спонтанно делящегося излучателя составляет $\tau_{1/2} = 2,2 \pm 0,5$ сек. Функция возбуждения для изотопа с $\tau_{1/2} \sim 2$ сек приведена на рис. 4. Пунктирной линией показаны расчетные кривые, соответствующие испарению 4 и 5 нейтронов в реакции $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}; 4n - 5n) ^{261,260}\text{I}_{05}$. На этом же рисунке показана также измеренная нами энергетическая зависимость сечения деления ^{243}Am под действием ионов ^{22}Ne .

Из рисунка 4 видно, что функция возбуждения имеет максимум при энергии 117 Мэв с шириной на полувысоте 8 Мэв.

Положение максимума кривой относительно кулоновского барьера реакции $E_{\text{LAB}}^6 = 106$ Мэв ($G_f = 10$ мб) смещено на величину 11 Мэв.

Характер функции возбуждения, приведенной на рис. 4, является, по нашему мнению, прямым указанием того, что наблюдаемый новый излучатель спонтанного деления образуется через составное ядро с последующим испарением нейтронов и, следовательно, имеет атомный номер 105. В реакции $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, xn) ^{265-x}\text{I}_{05}$ с наибольшей вероятностью будут образовываться изотопы с массой 261 и 260, что соответствует испарению из составного ядра $^{265}\text{I}_{05}$ 4 или 5 нейтронов. Для определения массового числа изотопа необходимо иметь точные значения энергии связи испаряющихся нейтронов, т.к. сдвиг по энергии реакции 5 н относительно 4 н (см. рис. 4) составляет всего 4-5 Мэв. В далекой области $Z = 105$ массы ядер неизвестны

с высокой степенью точности, и это обстоятельство вносит неопределенность при идентификации массового числа изотопа. Из совокупности экспериментальных данных (положение максимумов функций возбуждения, ширина кривых, согласие с расчетными зависимостями и др.) нам кажется, что из двух возможных кандидатов $^{261}\text{I}_{05}$ и $^{260}\text{I}_{05}$ более вероятно, что спонтанное деление с $\tau_{1/2} \sim 2$ сек. относится к изотопу с массой 261. Выход изотопа в максимуме функции возбуждения соответствует сечению $(5 \pm 1,5) \cdot 10^{-34}$ см². Естественно, спонтанное деление может быть не единственным способом распада ядра $^{261}\text{I}_{05}$ и поэтому полное сечение реакции $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, 4n) ^{261}\text{I}_{05}$ может быть больше указанной величины.

ВЫВОДЫ:

Из экспериментальных данных, полученных в настоящей работе и приведенных ранее в работе [1], можно сделать следующие выводы:

1. При облучении ^{243}Am ионами ^{22}Ne наблюдается образование изотопа, испытывающего спонтанное деление с периодом полураспада $\tau_{1/2} = 2,2 \pm 0,5$ сек.

2. Новый излучатель является продуктом реакции, протекающей с образованием составного ядра и последующим испарением нейтронов. Это непосредственно следует из экспериментальной зависимости сечения образования от энергии ионов ^{22}Ne и данных по угловому распределению спонтанно делящегося изотопа, измеренному с помощью коллимационного метода.

3. Сечение образования изотопа в максимуме кривой возбуждения составляет $\sim 5 \cdot 10^{-34}$ см² для ветви спонтанного деления.

Следует отметить, что синтезированные ядра наряду со спонтанным делением могут испытывать и α -распад, поэтому перциаль-

ный период полураспада относительно спонтанного деления может быть несколько больше.

Таким образом, все полученные данные являются дополнительным подтверждением выводов, ранее сделанных в работе [1], о том, что спонтанно делящийся излучатель с $T_{1/2} \sim 2$ сек. является изотопом 105 элемента.

Авторы благодарны В.А. Друину за ценные замечания, К.А. Гаврилову за притоворение мишеней; И.В. Колесову, В.М. Плотко и Ю.В. Полубоярину за большую помощь в наладке аппаратуры и в проведении опытов.

Выражаем благодарность группе эксплуатации ускорителя под руководством Б.А. Загера, а также Т.И. Рыбаковой, К.И. Меркиной и А.В. Сергеевой за большой труд по просмотру детекторов осколков деления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.Н. Флеров, Ю.Ц. Оганесян, В.В. Лобанов, В.А. Лазарев, С.П. Третьякова
Препринт ОИЯИ Р7-4932, Дубна (1970)
2. В.А. Друин, В.В. Лобанов, Ю.П. Харитонов.
Препринт ОИЯИ Р7-4681, Дубна (1969)
3. Ю.Ц. Оганесян, В.В. Лобанов, С.П. Третьякова, В.А. Лазарев, И.В. Колесов,
К.А. Гаврилов, В.М. Плотко, Ю.В. Полубояринов. Препринт ОИЯИ Р7-4797,
Дубна (1969)
4. J.D. Jackson *Can. J. Phys.* 34, 767 (1956)
5. T. Sikkeland *Arkiv för Fysik* 36, 539 (1966)
(частное сообщение)
6. A. Ghiorso, T. Sikkeland, M.J. Nuttall *Phys. Rev Lett* 18, 401 (1967)
7. А.Капуцки, В.П. Перельгин, С.П. Третьякова, ШЭ, 5, 72 (1964)
8. C.M. Lederer, A.M. Hofstadter, J. Perlman *Table of Isotopes* J. Wiley N.Y. (1962)
9. С.А. Карамян, Ю.Ц. Оганесян, Ю.Э. Ленионжквич, Б.И. Пустыльник.
Я.Ф. 9, 715 (1969)
10. T.D. Thomas *Phys. Rev.* 116, 703 (1959)
11. V. Viola, T. Sikkeland *Phys. Rev.* 128, 767 (1962)

Рукопись поступила в издательский отдел
8 мая 1970 года

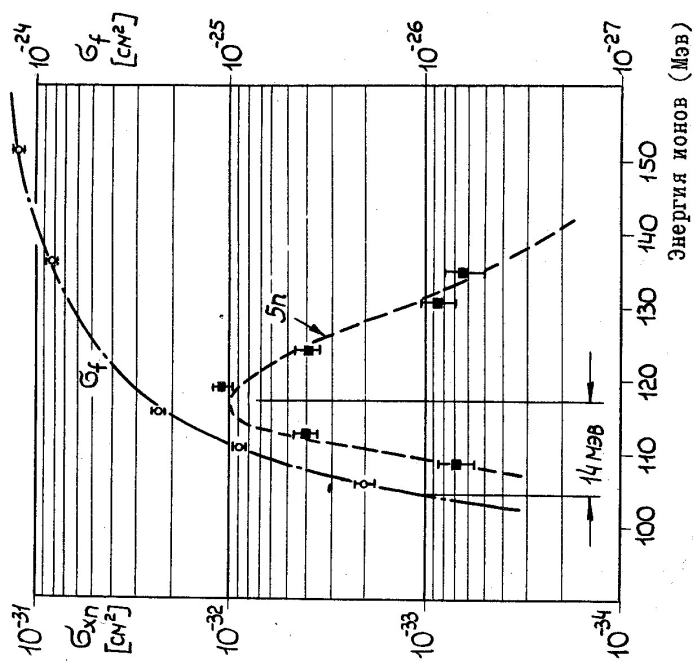


Рис. 2.

Зависимость сечения образования изотопа $^{252}\text{I}_{02}$ от энергии бомбардирующих ионов ^{22}Ne .
 Пунктирная кривая - расчетная функция возбуждения реакции $^{235}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 5n)^{252}\text{I}_{02}$; черные квадраты - экспериментальные точки.
 Штрих-пунктирная кривая (правая шкала) - расчетная зависимость сечения деления ^{235}U яонами ^{22}Ne ; открытые кружки - экспериментальные точки.

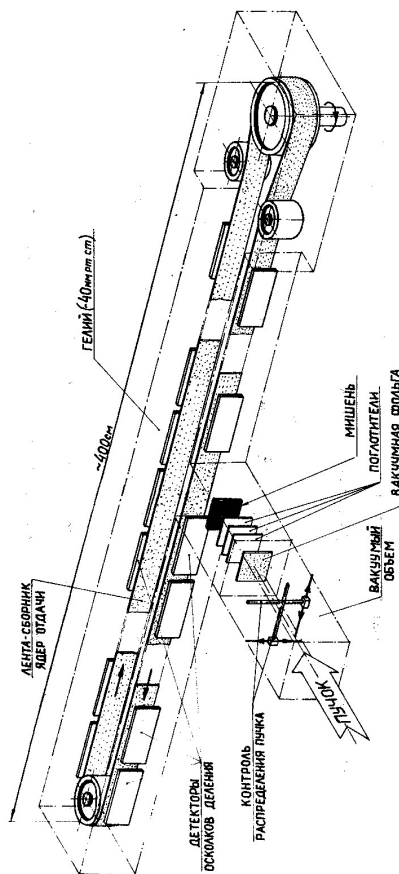


Рис. 1.

Схема экспериментального устройства для регистрации короткоживущих излучателей спонтанного деления.

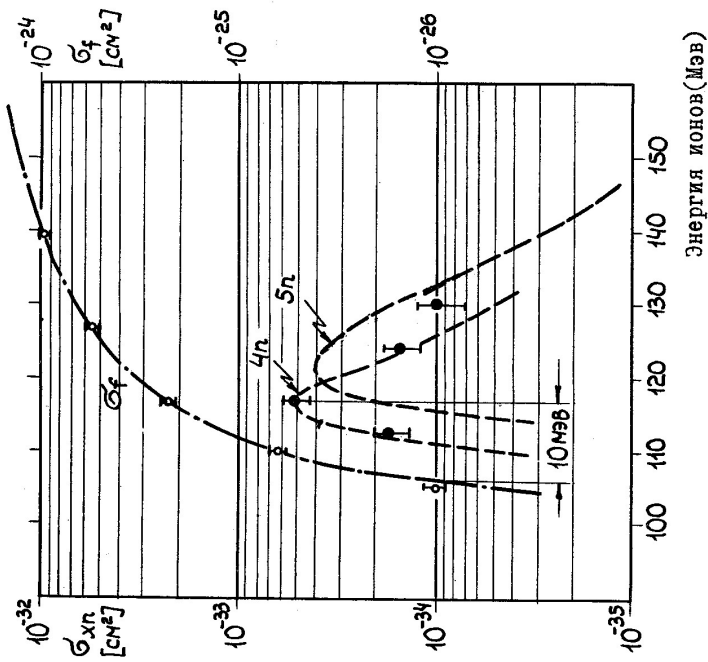


Рис. 4.

Зависимость сечения образования спонтанно делящегося изотопа с $\tau_{1/2} \sim 2$ сек. от энергии иона ^{22}Ne .
 Пунктирные кривые - расчетные функции возбуждения реакций $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, 4n)^{261}\text{I05}$ и $^{243}\text{Am} (^{22}\text{Ne}, 5n)^{260}\text{I05}$; черные точки - экспериментальные значения.
 Штрих-пунктирная кривая (правая шкала) - расчетная зависимость сечения деления ^{243}Am ионами ^{22}Ne ; открытые кружки - экспериментальные точки.

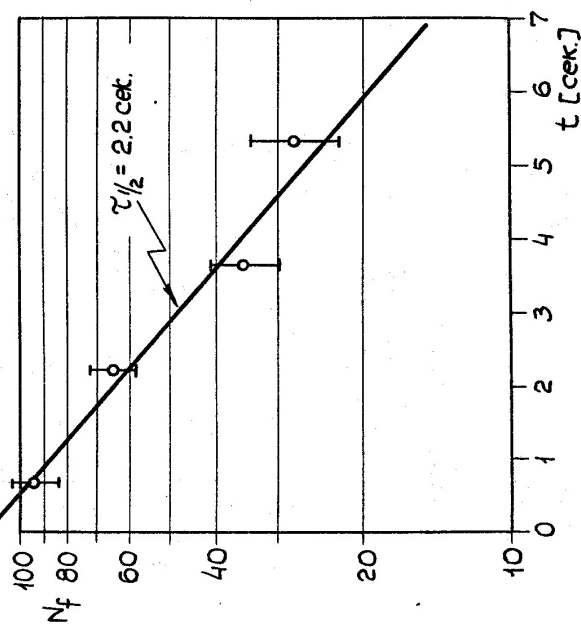


Рис. 5.

Распределение по времени осколков спонтанного деления изотопа, образующегося при облучении ^{243}Am ионами ^{22}Ne .