

2/ix-74

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 341.3 г
Л-171

P15 - 8095

Ю.А.Лазарев, М.Даковский, О.К.Нефедьев,
Ю.Ц.Оганесян

3463/2-74

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ
ПРИ СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ИЗОТОПА
102 ЭЛЕМЕНТА С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ 252

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

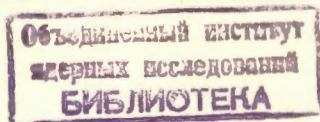
P15 - 8095

Ю.А.Лазарев, М.Даковский,* О.К.Нефедьев,
Ю.Ц.Оганесян

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ
ПРИ СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ИЗОТОПА
102 ЭЛЕМЕНТА С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ 252

Направлено в Physics Letters

* Институт ядерных исследований,
Сверк, Польша.



Лазарев Ю.А., Даковский М., Нефедьев О.К.,
Оганесян Ю.Ц.

P15 - 8095

Множественность мгновенных нейтронов при
спонтанном делении изотопа 102-го элемента
с массовым числом 252.

Для изотопа 102-го элемента с массовым числом 252 и периодом
полураспада 2,4 сек. определено среднее число мгновенных нейтронов
на акт спонтанного деления; $\bar{\nu} = 4,15 \pm 0,30$ относительно $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,01$
для спонтанного деления ^{244}Cm .

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1974

Lazarev Yu.A., Dakowski M., Nefediev O.K., P15 8095
Oganessian Yu.Ts.

Multiplicity of Prompt Neutrons from S
Spontaneous Fission of the Isotope $^{252}\text{102}$

The average number of prompt neutrons, $\bar{\nu}$, emitted
in the spontaneous fission of the isotope of element 102
with mass number 252 and a half-life of 2,4 sec has been
measured to be $4,15 \pm 0,30$ related to $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,01$ for
spontaneous fission of ^{244}Cm .

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1974

Спонтанное деление - чрезвычайно редкий процесс для ядер урана -
является одним из основных типов радиоактивного распада ядер с $Z \gg 100$:
многие четно-четные изотопы фермия и более тяжелых элементов распа-
даются исключительно путём спонтанного деления. Даже для некоторых
нечётных достаточно тяжёлых ядер, таких как $^{261}\text{105}$ [1], $^{259}\text{104}$ [2],
 $^{259}\text{102}$ [3] вероятность спонтанного деления может быть сравнима с веро-
ятностью α -распада. Но, за исключением данных о парциальных периодах
полураспада, экспериментальная информация о спонтанном делении и деле-
нии при низких энергиях возбуждения в целом для ядер тяжелее фермия
отсутствует. С другой стороны, именно деление изотопов фермия интен-
сивно изучалось в последние годы [4-12]. Глубокие качественные изме-
нения процесса деления при низких энергиях возбуждения, обнаруженные
для этих ядер, в частности, наблюдение симметричных массовых распре-
делений осколков для спонтанного деления ^{257}Fm [4] и деления ^{257}Fm
тепловыми нейтронами [4,5], усиливают интерес к исследованиям в
трансфермиевой области.

В трансфермиевой области детальные сведения о процессе деления
едва ли могут быть получены в ближайшее время, поскольку это связано
со значительными экспериментальными трудностями: времена жизни изото-
пов с $Z > 100$ находятся в диапазоне секунд, что требует проведения
"on-line"-измерений непосредственно на пучке тяжелых ионов; послед-
ние являются единственным средством проникновения в область элемен-
тов с $Z > 100$. Столь же резко, как и времена жизни, сокращаются доступ-
ные количества исследуемых ядер. Вместе с тем некоторые средние харак-
теристики деления для ряда короткоживущих изотопов могут быть опреде-
лены с достаточной степенью точности. Настоящая работа представляет

собой первую попытку получения такой информации: нами определялась множественность мгновенных нейтронов при спонтанном делении изотопа $^{252}\text{I}02$ -го элемента с массовым числом 252.

Изотоп $^{252}\text{I}02$ имеет период полураспада 2.4 ± 0.2 сек и с вероятностью $\approx 1/3$ испытывает спонтанное деление [1,13]. Он был получен ранее в ядерной реакции $^{235}\text{U} (^{22}\text{Ne}, 5n) ^{252}\text{I}02$, сечение которой при энергии ионов ^{22}Ne 117 Мэв достигает максимума, равного $1,5 \times 10^{-32}$ см² для ветви спонтанного деления; при этом суммарное эффективное сечение образования осколков спонтанного деления ядер - продуктов фоновых реакций не превышает 10^{-34} см² [1].

Эксперименты проводились на выведенном пучке ионов циклотрона У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Мишень из обогащенного ^{235}U ($\approx 90\%$) толщиной 1 мг/см² облучалась пучком ионов ^{22}Ne с энергией 117 Мэв и интенсивностью $\approx 10^{12}$ частиц/сек. Ядра отдачи, выбитые из мишени за счёт значительного импульса налетающих частиц, собирались на тонком сборнике из алюминия. Сборник совершал возвратно-поступательное движение между мишенью и эффективным центром большого детектора нейтронов деления, где, в свою очередь, был расположен поверхностно-барьерный Si(Au)-детектор с активной площадью 12 см² для регистрации осколков спонтанного деления исследуемых ядер. Рядом в независимом объёме помещался ещё один Si(Au)-детектор вместе с источником из ^{244}Cm , спонтанное деление которого служило для непрерывной калибровки детектора нейтронов. Сборник приводился в движение пневматической системой, которая обеспечивала его переброс на расстояние 0,5 м за 0,2 сек. В каждом из двух крайних положений - перед мишенью и перед Si(Au)-детектором - сборник останавливался на время 3,6 сек. Таким образом, цикл накопления ядер отдачи на сборнике периодически сменялся циклом регистрации их спонтанного деления. На время переброса и регистрации ускоритель был выключен.

Нейтроны регистрировались в совпадении с осколками деления парал-

лельно для исследуемого ($^{252}\text{I}02$) и эталонного (^{244}Cm) изотопов. Детектор нейтронов [14] состоял из 36 пропорциональных ^3He -счётчиков высокого давления, погруженных в замедлитель из плексигласа. Импульс любого Si(Au)-детектора, вызванный осколком деления исследуемого или эталонного ядра, а также импульс генератора фона, имитирующий осколок деления, разрешал регистрацию нейтронов в течение 130 мксек от момента его появления. Для каждого акта спонтанного деления $^{252}\text{I}02$ определялась амплитуда одного из осколков, время появления осколка, отсчитанное от момента останковки сборника ядер перед Si(Au)-детектором, и число зарегистрированных нейтронов. Для спонтанного деления ^{244}Cm определялась амплитуда осколка и число нейтронов, для фоновых событий - только число нейтронов. Регистрирующая электроника была связана с программно-управляемым каналом малой вычислительной машины ТРА-1001, с помощью которой осуществлялось накопление и предварительная обработка информации [14].

На цикл регистрации ускоритель выключался, однако уровень фона был достаточно высоким: в среднем регистрировалось 0,66 фоновых нейтронов на деление. Основным источником фона являются нейтронно-обогащенные изотопы легких элементов - излучатели запаздывающих нейтронов, в частности, ^{17}N ($T_{1/2} = 4.15$ сек). Эти ядра образуются с сечениями $\sim 10^{-26}$ см² в реакциях передачи нуклонов практически на любом из материалов технологических деталей, окружающих мишень. Для уменьшения фона детектор нейтронов был отделен от реакционной камеры слоем парафина с бором и окружен кадмием. Поскольку сечение образования ^{17}N на углероде сравнительно мало, в конструкции реакционной камеры широко использовался графит.

В соответствии с ожидаемой величиной эффекта на сборнике наблюдалось около 10 спонтанных делений в час. Суммарное число зарегистрированных делений составило 178. Их временное распределение соответствует периоду полураспада $^{252}\text{I}02$, равному 2,4 сек.

Экспериментальные данные представлены на рис.1. Гистограмма показывает распределение 178 актов спонтанного деления по числу зарегистрированных нейтронов ν . На рис.1 приводится также нормированное распределение множественности нейтронов, регистрируемых при спонтанном делении $^{252}_{102}$ (до вычитания фона) $\{F'_n\}$, и распределение множественности фоновых нейтронов $\{B_n\}$. Как следует из этих данных, в среднем на одно спонтанное деление регистрировалось 2,37 нейтрона, и 0,66 из них должны быть отнесены к фону. Эффективность регистрации нейтронов деления \mathcal{E} , определенная по известному значению $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,01$ для спонтанного деления $^{244}_{94}\text{Cm}$, составила $(41,4 \pm 1,5)\%$. Поскольку спектр нейтронов деления $^{252}_{102}$ неизвестен, а эффективность детекторов данного типа зависит от энергии нейтронов очень слабо, величина $\mathcal{E} = 41,4\%$ была принята также и для $^{252}_{102}$. После введения небольшой поправки на просчеты, возникающие из-за конечного разрешающего времени при регистрации двух и более нейтронов, было определено среднее число мгновенных нейтронов на акт спонтанного деления:

$$\bar{\nu} (^{252}_{102}) = 4,15 \pm 0,30.$$

Определяя место полученного результата в систематике чисел $\bar{\nu}$ для спонтанного деления ядер [15], необходимо отметить следующее. Если при переходе от $^{252}_{98}\text{Cf}$, для которого $\bar{\nu} = 3,735 \pm 0,014$, к тяжелым изотомам фермия $^{256}_{100}\text{Fm}$ ($\bar{\nu} = 3,73 \pm 0,18$ [8]) и $^{257}_{100}\text{Fm}$ ($\bar{\nu} = 3,77 \pm 0,02$ [6,9]) среднее число нейтронов практически остается постоянным, то увеличение Z на 4 единицы, приводящее к сравнительно легкому изотопу 102-го элемента, вероятно, влечет за собой заметное увеличение $\bar{\nu}$.

Экспериментальные данные позволяют определить также распределение числа нейтронов $\{P_n\}$. Для этого прежде всего необходимо детально учесть фон и получить распределение $\{F_n\}$, отражающее регистрируемую множественность именно нейтронов деления. Эта задача сводится, в принципе, к решению системы уравнений

$$\sum_{i=0}^{i=n} B_i F_{n-i} = F'_n, \quad n = 0, 1, 2, \dots, n_{\max},$$

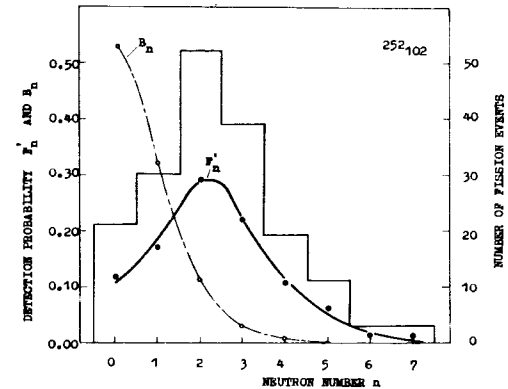


Рис.1. Распределение актов спонтанного деления $^{252}_{102}$ по числу зарегистрированных нейтронов (гистограмма, правая шкала). Нормированные распределения множественности регистрируемых нейтронов для $^{252}_{102}$ (сплошная кривая) и для фона (штрих-пунктирная кривая).

где F_n' - непосредственно наблюдаемая вероятность регистрации n нейтронов на акт деления, B_i - вероятность регистрации i фоновых нейтронов. Далее, учитывая эффективность детектора ε , методом статистической регуляризации [16] можно восстановить реальное распределение числа нейтронов ν , испускаемых делящимся ядром. Полученное таким образом распределение $\{P_\nu\}$ для спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Pu}$ представлено на рис.2. Оценка дисперсии этого распределения дает результат $\sigma_\nu^2 \sim 4$. Для сравнения на рис.2 показано распределение числа нейтронов для $^{244}_{94}\text{Cm}$, определенное нами в работе [15]. Как следует из рис.2, распределение числа нейтронов для $^{252}_{102}\text{Pu}$ является гораздо более широким. К сожалению, малая статистика и трудности, связанные с учетом значительного фона, не позволяют сделать более определенных количественных заключений о ширине этого распределения.

Интересно отметить, что в амплитудном спектре зарегистрированных осколков спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Pu}$ (рис.3) достаточно определенно выделены две группы амплитуд, несмотря на то, что эффективная толщина источника, определяемая пробегом ядер отдачи в сборнике, составляла $0,4-0,5 \text{ мг/см}^2$, а геометрическая эффективность регистрации осколков была близка к 2π . Не исключено, что такая форма амплитудного спектра осколков может быть обусловлена заметной асимметрией спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Pu}$.

Авторы благодарят академика Г.Н.Флёрова за постановку задачи, постоянную поддержку исследований и стимулирующие обсуждения.

Авторы признательны И.В.Колесову, В.М.Плотко и В.А.Щербакову за помощь в проведении эксперимента.

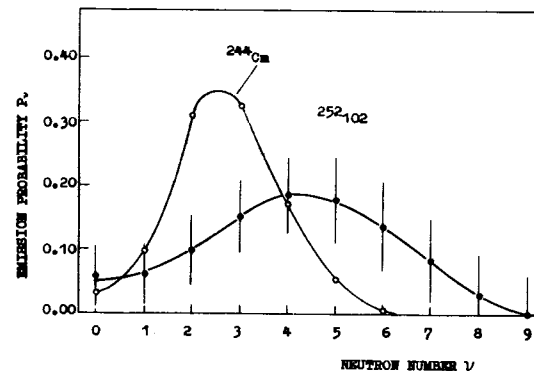


Рис.2. Распределения числа нейтронов $\{P_\nu\}$, испускаемых при спонтанном делении $^{252}_{102}\text{Pu}$ и $^{244}_{94}\text{Cm}$.

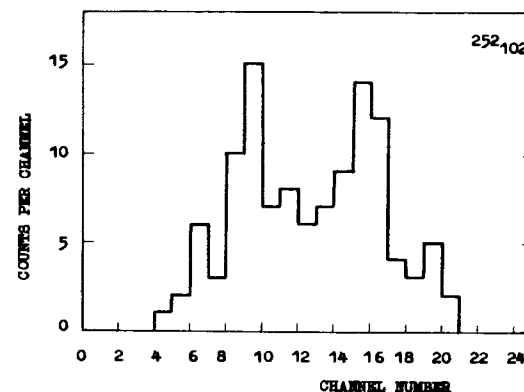


Рис.3. Амплитудный спектр осколков спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Pu}$.

Литература

1. Г.Н.Флёров, Ю.Ц.Оганесян, Ю.В.Лобанов, Ю.А.Лазарев, С.П.Третьякова, И.В.Колесов, В.М.Плотко. *АЭ*, 29, 243(1970); *Nucl.Phys.*, A160, 181(1971).
2. Г.Н.Флёров, Ю.А.Лазарев, Ю.В.Лобанов, Ю.Ц.Оганесян, С.П.Третьякова, Труды Международной конференции по физике тяжелых ионов, Дубна, 11-17 февраля 1971. Сборник Д7 - 5769, стр. 125-147 (1971).
3. R.J.Silva, P.F.Wittner, M.L.Mallory, O.L.Keller, K.Eskola, P.Eskola, M.Nurmi and A.Ghiorso. *Nucl.Phys.* A216, 97(1973)
4. J.P.Balagna, G.P.Ford, D.C.Hoffman, J.D.Knight. *Phys.Rev.Lett.* 26, 145(1971)
5. W.John, E.K.Hulet, R.W.Lougheed and J.J.Weselowski. *Phys. Rev. Lett.* 27, 45(1971)
6. E.Cheifetz, H.R.Bowman, J.B.Hunter and S.G.Thompson. *Phys.Rev.* 93, 2017(1971)
7. K.F.Flynn, E.P.Horwitz, C.A.A.Bloomquist, R.F.Barnes, R.K.Sjoblom, P.K.Fields and L.E.Glendenin. *Phys.Rev.* 92, 1725(1972)
8. М.Даковский, Ю.А.Лазарев, Ю.Ц.Оганесян. *ЯФ*, 16, 1167 (1972).
9. J.P.Balagna, J.A.Farrell, G.P.Ford, A.Hemmendinger, D.C.Hoffman, L.R.Veesser and J.B.Wilhelmy, Third IAEA Symposium on the Physics and Chemistry of Fission, Rochester, N.Y., August 13-17, 1973, Paper IAEA/SM-174/77
10. J.P.Unik, J.E.Gindler, L.E.Glendenin, K.F.Flynn, A.Gorski, and R.K.Sjoblom, *ibid*, Paper IAEA/SM-174/209
11. R.M.Harbour, K.W.MacMurdo, D.E.Troutner and M.V.Hoehn. *Phys.Rev.* 98, 1488(1973)
12. R.C.Ragaini, E.K.Hulet, R.W.Lougheed and J.W.Wild. *Phys.Rev.* 99, 399(1974)

13. A.Ghiorso, T.Sikkeland and M.J.Nurmi. *Phys.Rev.Lett.* 18, 401(1967)
14. М.Даковский, Ю.А.Лазарев, И.Ланг, О.К.Нефедьев, М.С.Бирулев. Сообщения ОИЯИ 13-6520, Дубна, 1972.
15. М.Даковский, Ю.А.Лазарев, Ю.Ц.Оганесян. *ЯФ*, 18, 724(1973).
16. M.Dakowski, Yu.A.Lazarev, V.F.Turchin and L.S.Turovtseva. *Nucl.Instr. & Meth.* 113, 195(1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 июля 1974 года.