

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

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 18204. Тираж 444. Уч.-изд.листов 0,50.
Редактор Б.Б.Колесова. Подписано к печати 28.7.74 г.

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiодическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

"Р" - издание на русском языке;

"Е" - издание на английском языке;

"Д" - работа публикуется на русском и английском языках. Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям. Индексы, описанные выше, представляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

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.

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
поруспадла 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 $^{244}_{\text{Cm}}$.

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 $^{252}_{102}\text{Po}$

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 $^{244}_{\text{Cm}}$.

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 $Z > 100$:
многие чётно-чётные изотопы фермия и более тяжёлых элементов распада-
ются исключительно путём спонтанного деления. Даже для некоторых
нечётных достаточно тяжёлых ядер, таких как $^{261}_{105}\text{Lr}$, $^{259}_{104}\text{Rf}$,
 $^{259}_{102}\text{Po}$ [3] вероятность спонтанного деления может быть сравнима с веро-
ятностью α -распада. Но, за исключением данных о периодических периодах
поруспадла, 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 $^{257}_{\text{Fm}}$ [4] и деления $^{257}_{\text{Fm}}$
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 тяжёлых 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 ^{102}Mo элемента с массовым числом 252.

Изотоп ^{252}Pu 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}Pu , сечение которой при энергии ионов ^{117}MeV достигает максимума, равного $1.5 \cdot 10^{-32} \text{ см}^2$ для ветви спонтанного деления; при этом суммарное эффективное сечение образования осколков спонтанного деления ядер - продуктов фоновых реакций не превышает 10^{-34} см^2 [1].

Эксперименты проводились на введенном 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 $\text{Si}(\text{Au})$ -детектор с активной площадью 12 см^2 для регистрации осколков спонтанного деления исследуемых ядер. Рядом в независимом объёме помещался ещё один $\text{Si}(\text{Au})$ -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 переборос на расстояние 0,5 м за 0,2 сек. В каждом из двух крайних положений - перед мишенью и перед $\text{Si}(\text{Au})$ -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 перебороса и регистрации ускоритель был выключен.

Нейтроны регистрировались в совпадении с осколками деления парал-

лельно для исследуемого (^{252}Pu) и эталонного (^{244}Cm) изотопов. Детектор нейтронов [14] состоял из 36 пропорциональных ^3He -счётчиков высокого давления, погруженных в замедлитель из плексигласа. Импульс любого $\text{Si}(\text{Au})$ -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}Pu определялась амплитуда одного из осколков, время появления осколка, отсчитанное от момента остановки сборки ядер перед $\text{Si}(\text{Au})$ -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 являлись нейтронно-обогатенные изотопы легких элементов - излучатели запаздывающих нейтронов, в частности, ^{17}N ($T_{1/2} = 4.15 \text{ сек}$). Эти ядра образуются с сечением $\sim 10^{-26} \text{ см}^2$ в реакциях передачи нейтронов 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 каплями. Поскольку сечение образования ^{17}N на углеводе 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}Pu , равному 2,4 сек.

Экспериментальные данные представлены на рис.1. Гистограмма показывает распределение 178 актов спонтанного деления по числу зарегистрированных нейтронов $\bar{\nu}$. На рис.1 приводится также нормированное распределение множественности нейтронов, регистрируемых при спонтанном делении $^{252}_{102}\text{Po}$ (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 ϵ , определенная по известному значению $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,01$ для спонтанного деления $^{244}_{94}\text{Pu}$, составила $(41,4 \pm 1,5)\%$. Поскольку спектр нейтронов деления $^{252}_{102}\text{Po}$ неизвестен, а эффективность детекторов данного типа зависит от энергии нейтронов очень слабо, величина $\epsilon = 41,4\%$ была принята также и для $^{252}_{102}\text{Po}$. 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:

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

Определяя место полученного результата в систематике чисел $\bar{\nu}$ для спонтанного деления ядер [15], необходимо отметить следующее. Если при переходе от $^{252}_{102}\text{Po}$ для которого $\bar{\nu} = 3,735 \pm 0,014$, к тяжелым изотопам 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

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

6

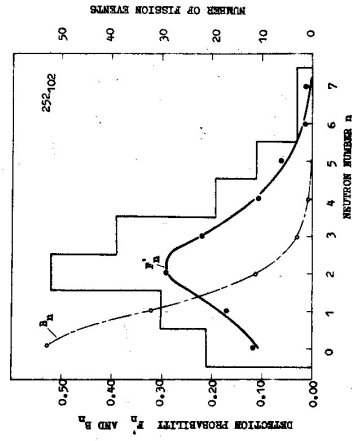


Рис.1. Распределение актов спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Po}$ по числу зарегистрированных нейтронов (гистограмма, правая шкала). Нормированные распределения множественности регистрируемых нейтронов для $^{252}_{102}\text{Po}$ (сплошная кривая) и для фона (штрих-пунктирная кривая).

где Γ_n^i - непосредственно наблюдаемая вероятность регистрации i нейтронов на акт деления, B_i - вероятность регистрации i фоновых нейтронов. Далее, учитывая эффективность детектора ϵ , методом статистической регрессии [16] можно восстановить реальное распределение числа нейтронов ν , испускаемых делящимся ядром. Полученное таким образом распределение $\{P_n^i\}$ для спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Pu}$ представлено на рис.2. Оценка дисперсии этого распределения дает результат $\sigma^2 \approx 4$. Для сравнения на рис.2 показано распределение числа нейтронов для $^{244}_{94}\text{Pu}$, 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 определены выделены две группы амплитуд, несмотря на то, что эффективная толщина источника, определяемая пробегом ядер отдачи в сборнике, составляет $0,4-0,5 \text{ мг/см}^2$, 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.Шербакову за помощь в проведении эксперимента.

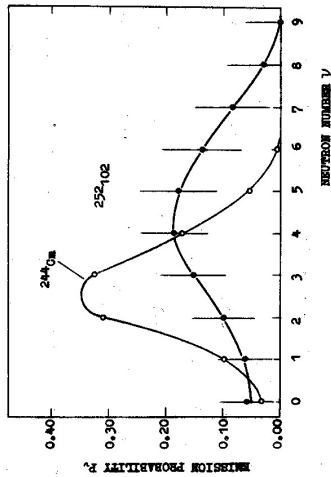


Рис.2. Распределения числа нейтронов $\{P_n^i\}$, испускаемых при спонтанном делении $^{252}_{102}\text{Pu}$ и $^{244}_{94}\text{Pu}$.

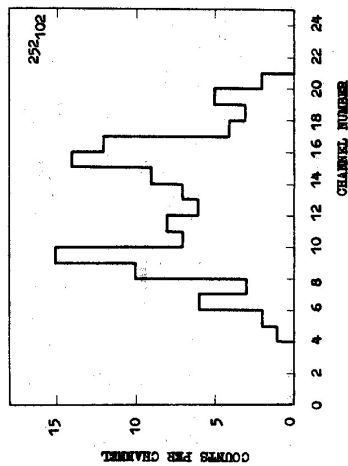


Рис.3. Амплитудный спектр осколков спонтанного деления $^{252}_{102}\text{Pu}$.

Литература

1. Г.Н. Флёров, Ю.Ц. Оганесян, Ю.В. Лобанов, Ю.А. Лазарев, С.П. Третьякова, И.В. Колесов, В.М. Плотко. *Изв. АН, 29*, 243(1970); *Иссл. Физ.*, **16**, 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, II-17 февраля 1971. Сборник Д7 - 5769, стр. 125-147 (1971).
3. R. J. Silva, R. F. Jittner, M. L. Malloy, O. L. Keller, K. Nakola, P. Nakola, M. Nurmia and A. Ghiorso. *Nucl. Phys.* **221**, 57(1973)
4. J. P. Balagna, G. P. Ford, D. C. Hoffman, J. D. Knight. *Phys. Rev. Lett.* **26**, 745(1971)
5. W. John, K. K. Hulet, R. W. Loughheed and J. J. Weselowski. *Phys. Rev. Lett.* **27**, 45(1971)
6. E. Cheifetz, R. R. Bowman, J. B. Hunter and S. G. Thompson. *Phys. Rev.* **93**, 2017(1971)
7. K. F. Flynn, E. P. Horwitz, C. A. Bloomquist, R. F. Barnes, R. K. Sjoblom, P. K. Fields and L. E. Glendenin. *Phys. Rev.* **95**, 1725(1972)
8. М. Даковский, Ю.А. Лазарев, Ю.Ц. Оганесян. *Изв.* **16**, 1167 (1972).
9. J. P. Balagna, J. A. Farrell, G. P. Ford, A. Remmendinger, D. G. Hoffman, I. R. Veiser 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. MacKard, D. E. Troutner and M. V. Hobbs. *Phys. Rev.* **98**, 1488(1973)
12. R. C. Ragaini, K. K. Hulet, R. W. Loughheed and J. W. Wild. *Phys. Rev.* **99**, 399(1974)

13. A. Ghiorso, T. Sikkeland and M. J. Munnia. *Phys. Rev. Lett.* **18**, 401(1967)
14. М. Даковский, Ю.А. Лазарев, И. Данил, О.К. Нефедьев, М.С. Бирдулев. Сообщение ОИЯИ ГЗ-6520, Дубна, 1972.
15. М. Даковский, Ю.А. Лазарев, Ю.Ц. Оганесян. *Изв.* **18**, 724(1973).
16. M. Dakowski, Yu. A. Lazarev, Yu. P. Oganessian and L. S. Nikititsyna. *Nucl. Instr. & Meth.* **113**, 195(1973).

Рукопись поступила в редакционный отдел
II июля 1974 года.