

ЭФ, 1973, т. 17, № 4, с. 692-695  
21, -73

Д-149

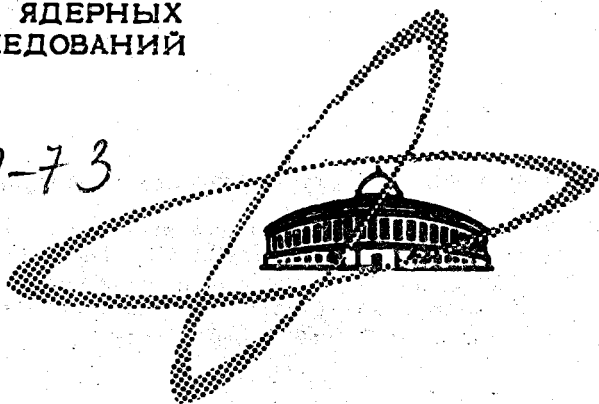
ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

48/2-73

e +

P15 - 6730



М. Даковский, Ю. А. Лазарев,  
Ю. Ц. Оганесян, Г. В. Букланов

МГНОВЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ ПРИ СПОНТАННОМ  
ДЕЛЕНИИ  $^{246}\text{Cf}$

P15 - 6730

М. Даковский, Ю. А. Лазарев,  
Ю. Ц. Оганесян, Г. В. Букланов

МГНОВЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ ПРИ СПОНТАННОМ  
246  
ДЕЛЕНИИ Cf

*Направлено в ЯФ*

СЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

Особенностью систематики средних чисел нейтронов на акт спонтанного деления  $\bar{\nu}$  является значительное усиление зависимости этих величин от массы делящегося ядра  $A$  в области  $A \geq 244$ <sup>/1/</sup>. Этим обусловлена необходимость более точных измерений  $\bar{\nu}$  в указанном диапазоне масс ядер. Выход нейтронов при спонтанном делении четно-четных изотопов кюрия рассматривался в работах <sup>/2,3/</sup>; мы обратимся к изотопам калифорния. Кроме исключительно важного изотопа  $^{252}\text{Cf}$ , для которого многие характеристики спонтанного деления, в том числе и мгновенные нейтроны, измерены прецизионно, средние числа нейтронов определены для спонтанного деления еще трех изотопов калифорния. Так, в недавних экспериментах <sup>/3/</sup> было измерено  $\bar{\nu}$  для  $^{250}\text{Cf}$  и значительно уточнено, по сравнению с <sup>/4/</sup>,  $\bar{\nu}$  для  $^{254}\text{Cf}$ . Для  $^{246}\text{Cf}$ , наиболее легкого из исследованных изотопов, имеется только один результат,  $\bar{\nu} = 2,78 \pm 0,19$ <sup>\*</sup>, полученный в 1957 г. <sup>/4/</sup>. В настоящее время такая степень точности затрудняет систематизацию величин  $\bar{\nu}$ . Так, например,  $\bar{\nu}$  для  $^{246}\text{Cf}$  меньше, чем  $\bar{\nu} = 2,950 \pm 0,015$  для  $^{246}\text{Cm}$  <sup>/2/</sup>; для той же изобарной пары, но с  $A = 250$ ,  $\bar{\nu}(\text{Cf})$  превышает  $\bar{\nu}(\text{Cm})$  на 0,22, согласно работе <sup>/3/</sup>. Распределение множественности мгновенных нейтронов известно только для одного из изотопов калифорния, а именно,  $^{252}\text{Cf}$ . В связи с этим в настоящей работе измерялись среднее число и распределение множественности нейтронов  $P_\nu$  при спонтанном делении  $^{246}\text{Cf}$ .

Изотоп  $^{246}\text{Cf}$ , обладающий периодом полураспада 35,7 час <sup>/6/</sup>, получался в ядерной реакции  $^{238}\text{U} (^{12}\text{C}, 4n)$ , сечение которой составляет 62 мкбарн при энергии ионов 67,5 Мэв <sup>/7/</sup>. Наклонная мишень из металлического  $^{238}\text{U}$  облучалась в течение 15 часов внутренним пучком ионов  $^{12}\text{C}$  интенсивностью  $\approx 3 \times 10^{13}$  част/сек, ускоренных на циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Поверхностный слой облученной мишени растворялся в

<sup>\*</sup>/ В оригинальной работе сообщается значение  $2,92 \pm 0,19$ , измеренное, как указано в работе <sup>/5/</sup>, относительно  $\bar{\nu} = 2,257$  для  $^{240}\text{Pu}$ . Приведенное значение получено перенормировкой к  $\bar{\nu} = 2,150 \pm 0,008$  для  $^{240}\text{Pu}$ , определенному по многим измерениям в работе <sup>/1/</sup>.

концентрированной соляной кислоте, затем методом ионообменной хроматографии на колонке со смолой *Dowex 1x4* отделялась фракция транслютониевых элементов.

Несмотря на значительное сечение реакции и высокую интенсивность пучка ионов, что позволило накопить около  $6 \times 10^8$  атомов калифорния, исследования мгновенных нейтронов сильно затруднены малой относительной вероятностью спонтанного деления  $^{246}\text{Cf}$ , равной  $2 \times 10^{-6}$  /6/. Измерения проводились методом параллельной регистрации нейтронов  $^{246}\text{Cf}$  и  $^{244}\text{Cm}$ , служившего стандартом для определения эффективности, в совпадении с соответствующим осколком деления. Использовался анализатор нейтронов деления на линии с малой ЭВМ ТРА-1001, подробное описание которого содержится в работе /8/.

Детектор нейтронов /рис. 1/ содержал 36 пропорциональных  $^3\text{He}$ -счетчиков, погруженных в замедлитель из плексигласа, в центре которого располагались две независимые камеры с поверхностно-барьерными *Si (Au)*-детекторами для регистрации осколков деления; в одной из камер находился исследуемый источник,  $^{246}\text{Cf}$ , в другой - эталонный,  $^{244}\text{Cm}$ . Эффективность регистрации нейтронов деления, основанная на  $\bar{\nu} = 2,69$  для  $^{244}\text{Cm}$  /1,2/ составляла 48,2%, уровень фона - около 0,0015 нейтрон/деление. Для каждого акта деления определялись номер *Si (Au)*-детектора /признак исследуемого или эталонного события/, амплитуда осколка и число зарегистрированных нейтронов. Для определения фона анализатор нейтронов периодически включался генератором, имитирующим осколки деления. Информация накапливалась в памяти ЭВМ, одновременно с этим обрабатывалась и представлялась на экране осциллоскопа или на печати телетайпа.

Измерения продолжались около 100 часов, при этом было зарегистрировано 65015 актов деления  $^{244}\text{Cm}$  и 606 делений в исследуемом источнике. Временное распределение последних /рис. 2/ хорошо согласуется с периодом полураспада  $^{246}\text{Cf}$ , равным 35,7 час. Используя данные работ /7,9/ о вероятностях образования в реакции  $^{238}\text{U} + ^{12}\text{C}$  различных изотопов и рассматривая их свойства /6/, нетрудно показать, что вклад других спонтанно делящихся ядер, кроме  $^{246}\text{Cf}$ , в наблюдаемый эффект, исчезающе мал.

606 актов спонтанного деления  $^{246}\text{Cf}$  распределились по признаку числа зарегистрированных нейтронов  $n$  следующим образом: 105, 221, 183, 70, 22 и 5 для  $n = 0, 1, 2, \dots, 5$ , соответственно. Подобное распределение было получено и для  $^{244}\text{Cm}$ . Эти распределения множественности регистрируемых нейтронов были исправлены на фон и разрешающее время детектора нейтронов методом, изложенным в работе /8/. После учета поправок получен результат  $\bar{\nu} = 3,14 \pm 0,09$  для  $^{246}\text{Cf}$ ; основной вклад в ошибку вносит статистика числа наблюдавшихся делений. Величина  $\bar{\nu}$ , полученная в настоящей работе, заметно выше результата работы /4/: расхождение составляет 0,36 и не перекрывается ошибками измерений. Значение  $\bar{\nu} = 3,14$  лучше согласуется с остальной совокупностью экспериментальных данных и зависимостью  $\bar{\nu}$  от массового числа  $A$  изотопа калифорния, которая в интервале  $A = 246-254$  хорошо

аппроксимируется прямой линией с наклоном  $\left. \frac{\Delta \bar{\nu}}{\Delta A} \right|_{\Delta A=2} = 0,18 \pm 0,03$

/рис. 3/; линейная зависимость примерно с таким же наклоном имеет место и для четно-четных изотопов кюрия при  $A = 242-250$  /2,3/.

Распределения числа нейтронов  $P_\nu$  восстанавливались по экспериментальным распределениям множественности регистрируемых нейтронов  $F_n$  методом статистической регуляризации /11/, поскольку прямой учет эффективности детектора по обычным формулам Дайвена /12/ при  $\epsilon \approx 48\%$  и небольшой статистике дает некорректный, осциллирующий результат. Восстановленные компоненты распределений числа нейтронов обладают значительными ошибками, поэтому интегральные характеристики распределений - среднее число  $\bar{\nu}$ , дисперсия  $\sigma_\nu^2 = \langle \nu^2 \rangle - \bar{\nu}^2$  и параметр формы  $\Gamma_2 = [\langle \nu^2 \rangle - \bar{\nu}] / \bar{\nu}^2$  определялись непосредственно по экспериментальным данным:

$$\bar{\nu} = \frac{\bar{n}}{\epsilon} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{n=0}^{n_{max}} n F_n, \quad \sigma_\nu^2 = \frac{\langle n^2 \rangle - \bar{n}^2 - \bar{n}(1-\epsilon)}{\epsilon^2}, \quad \Gamma_2 = [\langle n^2 \rangle - \bar{n}] / \bar{n}^2,$$

где  $F_n$  - вероятность регистрации  $n$  нейтронов в одном акте деления /регистрируемое распределение множественности/,  $\sum_{n=0}^{n_{max}} F_n = 1$ ;  $\langle n^2 \rangle = \sum_{n=0}^{n_{max}} n^2 F_n$ ;  $\epsilon$  - эффективность детектора нейтронов. Результаты приводятся на рис. 4 и в таблице 1.

Распределение множественности нейтронов для  $^{244}\text{Cm}$ , полученное в настоящей работе, находится в хорошем согласии с данными более ранних измерений /12,13/. По сравнению с этим, распределение числа нейтронов для  $^{246}\text{Cf}$  обладает заметно большей дисперсией, которая в пределах экспериментальной ошибки совпадает с  $\sigma^2 = 1,618$ , определенной в работе /14/ для  $^{252}\text{Cf}$ . Еще более широкие распределения числа нейтронов наблюдаются при спонтанном делении изотопов фермия /15/. Эти факты свидетельствуют в пользу предположения об увеличении ширины распределения энергии возбуждения осколков с ростом ее средней величины, или  $\bar{\nu}$ , сделанного Террелом /16/.

Авторы благодарят академика Г.Н.Флерова за постановку задачи и многочисленные обсуждения.

Авторы выражают благодарность И.Лангу за постоянное совершенствование программного обеспечения, О.К.Нефедьеву, В.Г.Субботину, В.Ф.Кушнируку за помощь в проведении эксперимента, а также коллективу эксплуатации У-300, руководимому Б.А.Загером, за обеспечение интенсивного пучка ионов.

#### Литература

1. F.Manero and V.A.Konshin.Report INDC (NDC) - 34/U, IAEA, Vienna, June, 1971.
2. Л.И.Прохорова, В.Г.Нестеров, Г.Н.Смиренкин и др. АЭ, 33, 767 /1972/.
3. С.И.Orth. Nucl.Sci.Eng., 43, 54 (1971).
4. R.V.Pyle. "The Multiplicities of Neutrons from Spontaneous Fission", Gordon Conference, 1957.
5. Е.К.Ньюде, I.Pperlman, G.T.Seaborg. The Nuclear Properties of the Heavy Elements, III. Fission Phenomena, p.217, Englewood Cliffs, New Jersey (1964).
6. С.М.Lederer, А.М.Hollander, I.Pperlman. Table of Isotopes, Sixth Edition, J.Wiley and Sons, New York (1967).
7. Т.Sikkeland, J.Maly, D.F.Lebeck. Phys.Rev., 169, 1000 (1968).
8. М.Даковский, Ю.А.Лазарев, И.Ланг, О.К.Нефедьев, М.С.Бирулев. Сообщения ОИЯИ 13-6520, Дубна, 1972.

9. T.Sikkeland, S.G.Thompson and A.Ghiorso. Phys.Rev. 112, 543 (1958).
10. G.C.Hanna, C.H.Westcott, H.D.Lemmel, B.R.Leonard, Jr., J.S.Story and P.M.Attree. At.Energy Rev., 7, No. 4,3 (1969).
11. В.Ф.Турчин, В.П.Козлов, М.С.Малкевич. УФН, 102, 345 /1970/.
12. B.C.Diven, H.C.Martin, R.F.Taschek, J.Terrel. Phys.Rev., 101, 1012 (1956).
13. D.A.Hicks, J.Ise, Jr. R.V.Pyle. Phys.Rev., 101, 1016 (1956).
14. E.Baron, J.Frehaut, F.Ouvry, M.Soleilhac. Nuclear Data for Reactors, vol. II, p.57, IAEA, Vienna, 1967.
15. М.Даковский, Ю.А.Лазарев, Ю.Ц.Оганесян. Препринт ОИЯИ, P15-6518, Дубна, 1972.
16. J.Terrell. Phys.Rev., 108, 783 (1957).

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 сентября 1972 года.

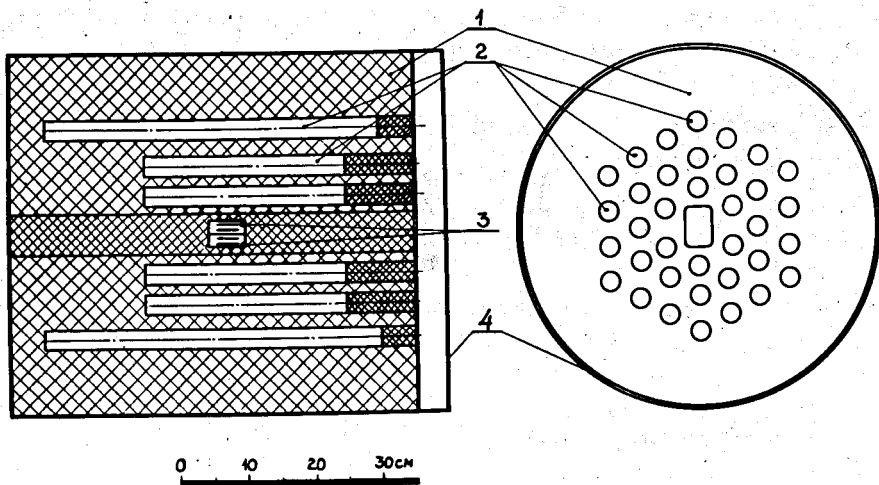


Рис. 1. Схема детектора нейтронов. 1 - замедлитель /плексиглас/, 2 - пропорциональные  $^3\text{He}$ -счетчики, 3 - камеры с источниками делений и  $\text{Si}(\text{Au})$ -детекторами, 4 - металлический экран.



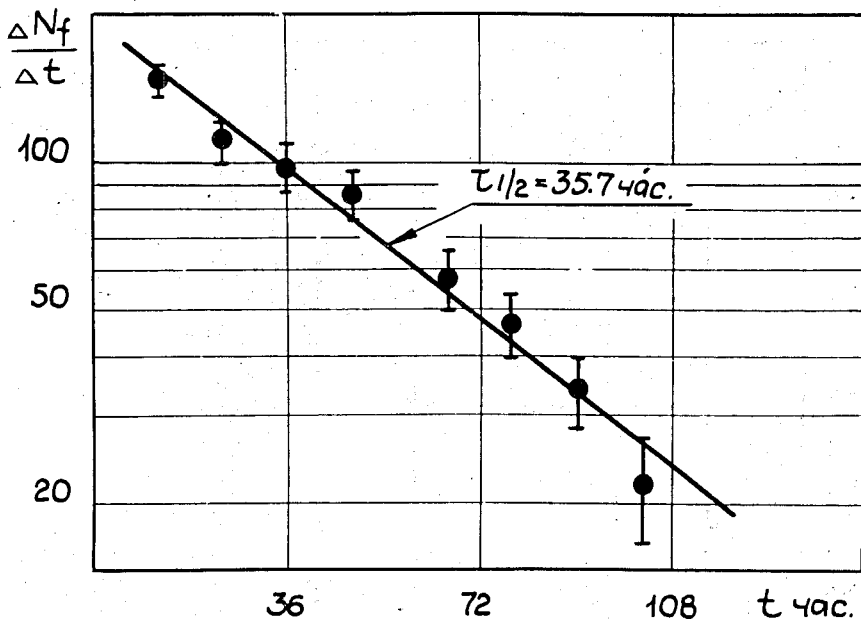


Рис. 2. Временное распределение актов деления, зарегистрированных в исследуемом источнике.

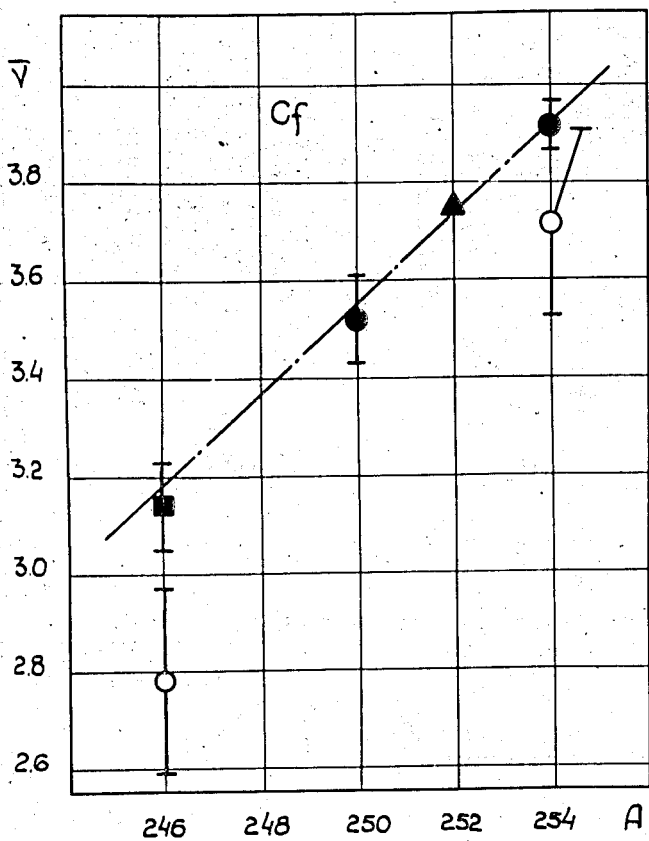


Рис. 3. Зависимость среднего числа нейтронов от массового числа  $A$  для спонтанного деления изотопов калифорния.  $\bullet$ ,  $\circ$  - экспериментальные данные работ /3/ и /4/, соотв.;  $\blacktriangle$  - рекомендованное значение  $\bar{\nu}$  для  $^{252}\text{Cf}$  /10/;  $\blacksquare$  ----- результат настоящей работы.

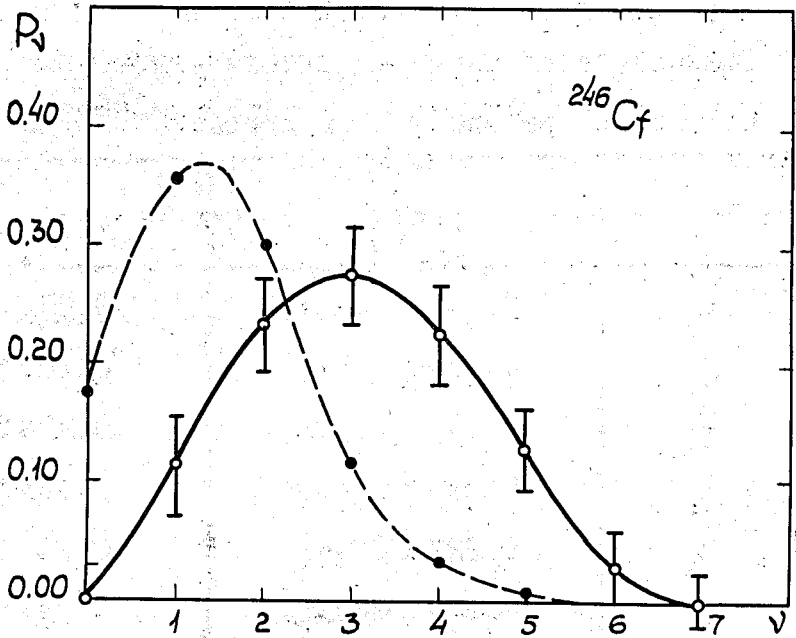


Рис. 4. Распределение числа нейтронов, испускаемых при спонтанном делении  $^{246}\text{Cf}$  /сплошная линия/,  $P_n$ . Пунктиром показано экспериментальное распределение множественности регистрируемых нейтронов,  $F_n$ .

Таблица I.

Распределения множественности мгновенных нейтронов при спонтанном делении  $^{246}\text{Cf}$  и  $^{244}\text{Cm}$ .

	$^{246}\text{Cf}$	$^{244}\text{Cm}$
$P_0$	$0.000 \pm 0.027$	$0.031 \pm 0.005$
$P_1$	$0.112 \pm 0.041$	$0.103 \pm 0.014$
$P_2$	$0.233 \pm 0.041$	$0.294 \pm 0.020$
$P_3$	$0.274 \pm 0.043$	$0.339 \pm 0.020$
$P_4$	$0.222 \pm 0.042$	$0.187 \pm 0.019$
$P_5$	$0.128 \pm 0.036$	$0.044 \pm 0.019$
$P_6$	$0.031 \pm 0.033$	$0.000 \pm 0.017$
$P_7$	$0.000 \pm 0.019$	$0.002 \pm 0.010$
$\bar{\nu}$	$3.14 \pm 0.09$	$2.69 \pm 0.01^{\text{x})}$
$\sigma_v^2$	$1.66 \pm 0.31$	$1.290 \pm 0.025$
$\Gamma_2$	$0.850 \pm 0.031$	$0.807 \pm 0.003$

x) Принято в качестве стандарта.