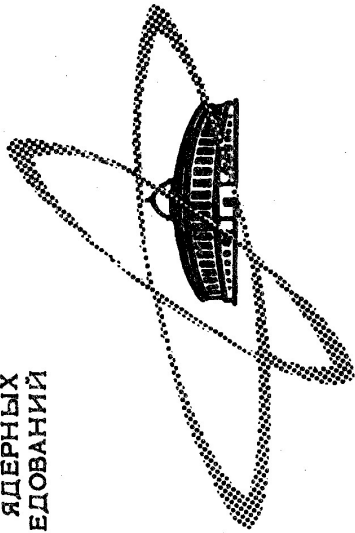


ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
Дубна



P15 - 6730

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

МГНОВЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ ПРИ СПОНТАННОМ
ДЕЛЕНИИ ²⁴⁶Cf

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 15270. Тираж 458. Уч.-изд. листов 0,82.
Редактор В. Б. Колесова. Октябрь 1972 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 аperiodическом 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 рассматриваются 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, проставляются 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, P2-4985, Дубна, 1971.

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

МГНОВЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ ПРИ СПОНТАННОМ
ДЕЛЕНИИ ²⁴⁶Cf

Направлено в ЯФ

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

P15-6730

Мгновенные нейтроны при спонтанном делении ^{246}Cf

Для спонтанного деления ^{246}Cf ($\tau \approx 35,7$ час) измерено распределение множественности мгновенных нейтронов, P_ν , и определено их среднее число: $\bar{\nu} = 3,14 \pm 0,09$ относительно $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,01$ для ^{244}Cm . Детектор нейтронов деления на базе ^3He пропорциональных счетчиков, погруженных в замедлитель, обладал эффективностью регистрации 48,2%. ^{246}Cf был получен в реакции $^{238}\text{U} ({}^{12}\text{C}, 4n)$ на циклотроне У-300 ЛЯР ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1972

Dakowski M., Lazarev Yu.A.,
Oganessian Yu.Ts., Buklanov G.V.

P15-6730

Prompt Neutrons for Spontaneous Fission of ^{246}Cf

The multiplicity distribution as well as the average number of prompt neutrons for spontaneous fission of ^{246}Cf ($\tau \approx 35.7$ h) have been measured: $\bar{\nu} = 3.14 \pm 0.09$ on the basis of $\bar{\nu} = 2.69 \pm 0.01$ for ^{244}Cm .

Neutron detector consisted of 36 ^3He -filled proportional counters embedded in plexiglas. The efficiency of detection was 48.2%. ^{246}Cf was synthesized in the reaction $^{238}\text{U} ({}^{12}\text{C}, 4n)$ using carbon beam from the U-300 cyclotron of Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1972

Особенностью систематики средних чисел нейтронов на акт спонтанного деления $\bar{\nu}$ является значительное усиление зависимости этих величин от массы делящегося ядра A в области $A \geq 244/1$. 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 /2,3/; мы обратимся к изотопам калифорния. Кроме исключительно важного изотопа ^{252}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 /3/ было измерено $\bar{\nu}$ для ^{250}Cf и ^{254}Cf . Для ^{246}Cf , наиболее легко из исследованных изотопов, имеется только один результат, $\bar{\nu} = 2,78 \pm 0,19$ /4/, полученный в 1957 г. /4/. В настоящее время такая степень точности затрудняет систематизацию величин $\bar{\nu}$. Так, например, $\bar{\nu}$ для ^{246}Cf меньше, чем $\bar{\nu} = 2,950 \pm 0,015$ для $^{246}\text{Cm} /2/$; для той же изобарной пары, но с $A = 250$, $\bar{\nu}(\text{Cf})$ превышает $\bar{\nu}(\text{Cm})$ на 0,22, согласно работе /3/. Распределение множественности мгновенных нейтронов известно только для одного из изотопов калифорния, а именно, ^{252}Cf . В связи с этим в настоящей работе измерались среднее число и распределение множественности нейтронов P_ν при спонтанном делении ^{246}Cf .

Изотоп ^{246}Cf , обладающий периодом полураспада 35,7 час /6/, получался в ядерной реакции $^{238}\text{U} ({}^{12}\text{C}, 4n)$, сечение которой составляет 62 мкбарн при энергии ионов 67,5 Мэв /7/. Наклонная мишень из металлического ^{238}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

$\times/$ В оригинальной работе сообщается значение $2,92 \pm 0,19$, измеренное, как указано в работе /5/, относительно $\bar{\nu} = 2,257$ для ^{246}Pu . Приведенное значение получено перенормировкой к $\bar{\nu} = 2,150 \pm 0,008$ для ^{246}Pu , определенному по многим измерениям в работе /1/.

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 6×10^8 атомов калифорния, исследования мгновенных нейтронов сильно затруднены малой относительной вероятностью спонтанного деления ^{246}Cf , равной $2 \times 10^{-6} / 6$. Измерения проводились методом параллельной регистрации нейтронов ^{246}Cf и ^{244}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 ^3He -счетчиков, погруженных в замедлитель из плексигласа, в центре которого располагались две независимые камеры с поверхностью-барьерными $\text{Si}(Au)$ -детекторами для регистрации осколков деления; в одной из камер находился исследуемый источник, ^{246}Cf , в другой - эталонный, ^{244}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 $\text{Si}(Au)$ -детектора /признак исследуемого или эталонного события/, амплитуда осколка и число зарегистрированных нейтронов. Для определения фона анализатор нейтронов периодически включался генератором, имитирующим осколок 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}Cm и 606 делений в исследуемом источнике. Временное распределение последних /рис. 2/ хорошо согласуется с периодом полураспада ^{246}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}Cf , в наблюдаемый эффект, исчезающе мал.

606 актов спонтанного деления ^{246}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}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}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 $\frac{\Delta \bar{\nu}}{\Delta A} \Big|_{\Delta A=2} = 0,18 \pm 0,03$

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

Распределения числа нейтронов P_n 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 $\sigma^2 = \langle \nu^2 \rangle - \bar{\nu}^2$ и параметр формы $\Gamma_2 = [\langle \nu^3 \rangle - 3\bar{\nu} \langle \nu^2 \rangle + 2\bar{\nu}^3] / \bar{\nu}^2$ определялись непосредственно по экспериментальным данным:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{n=0}^{n_{max}} n F_n, \quad \sigma^2 = \frac{\langle \nu^2 \rangle - \bar{\nu}^2 (1 - \epsilon)}{\epsilon^2}, \quad \Gamma_2 = \frac{[\langle \nu^3 \rangle - 3\bar{\nu} \langle \nu^2 \rangle + 2\bar{\nu}^3]}{\bar{\nu}^2},$$

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

Распределение множественности нейтронов для ²⁴⁴Cm, полученное в настоящей работе, находится в хорошем согласии с данными более ранних измерений /12,13/. По сравнению с этим, распределение числа нейтронов для ²⁴⁶Cf обладает заметно большей дисперсией, которая в пределах экспериментальной ошибки совпадает с $\sigma^2 = 1,618$, определенной в работе /14/ для ²⁵²Cf. 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.Кушнрику за помощь в проведении экспериментов, 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. C. I. Orth. Nucl. Sci. Eng., 43, 54 (1971).
4. R. V. Pyle. "The Multiplicities of Neutrons from Spontaneous Fission", Gordon Conference, 1957.
5. E. K. Hyde, I. Perlman, G. T. Seaborg. The Nuclear Properties of the Heavy Elements, III. Fission Phenomena, p. 217, Englewood Cliffs, New Jersey (1964).
6. C. M. Lederer, A. M. Hollander, I. Perlman. Table of Isotopes, Sixth Edition, J. Wiley and Sons, New York (1967).
7. T. 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, Р15-6518, Дубна, 1972.
16. J. Terrell. Phys. Rev., 108, 783 (1957).

Рукопись поступила в издательский отдел
21 сентября 1972 года.

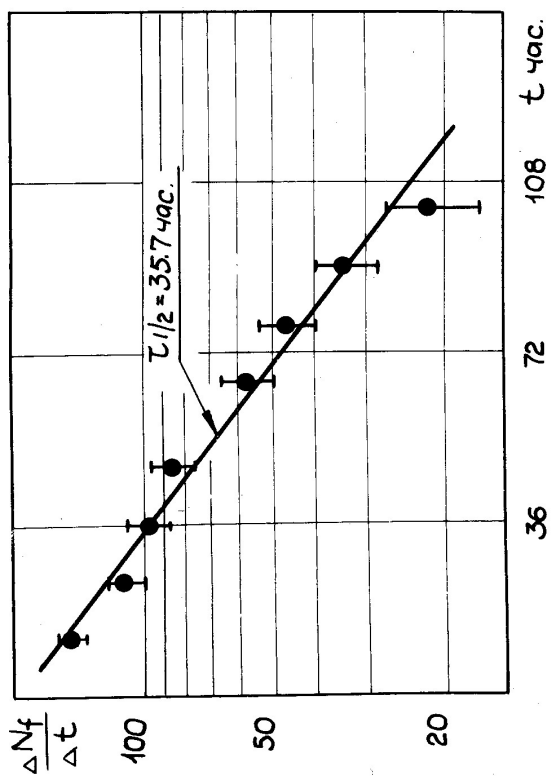


Рис. 2. Временное распределение актов деления, зарегистрированных в исследуемом источнике.

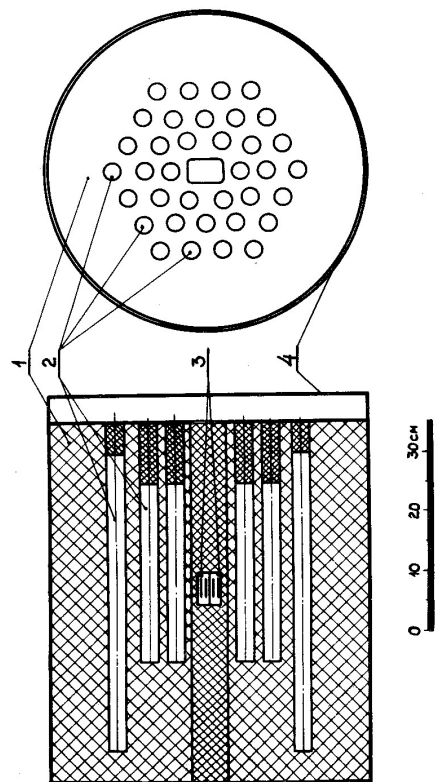


Рис. 1. Схема детектора нейтронов. 1 - замедлитель /плексиглас/, 2 - пропорциональные ^3He -счетчики, 3 - камеры с источниками делений и $\text{Si}(\text{Au})$ -детекторами, 4 - металлический экран.

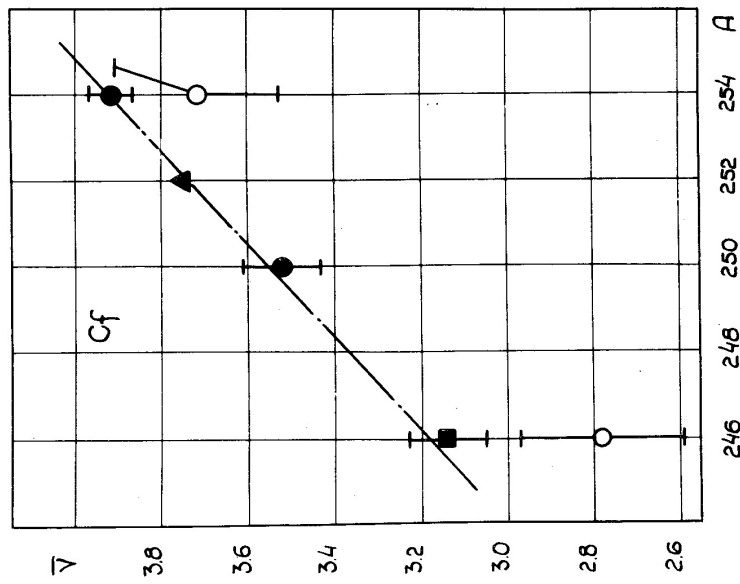


Рис. 3. Зависимость среднего числа нейтронов от массового числа A для спонтанного деления изотопов калифорния. \bullet , \circ - экспериментальные данные работ /3/ и /4/, соотв.; \blacktriangle - рекомендованное значение $\bar{\nu}$ для ^{252}Cf /10/; ----- результат настоящей работы.

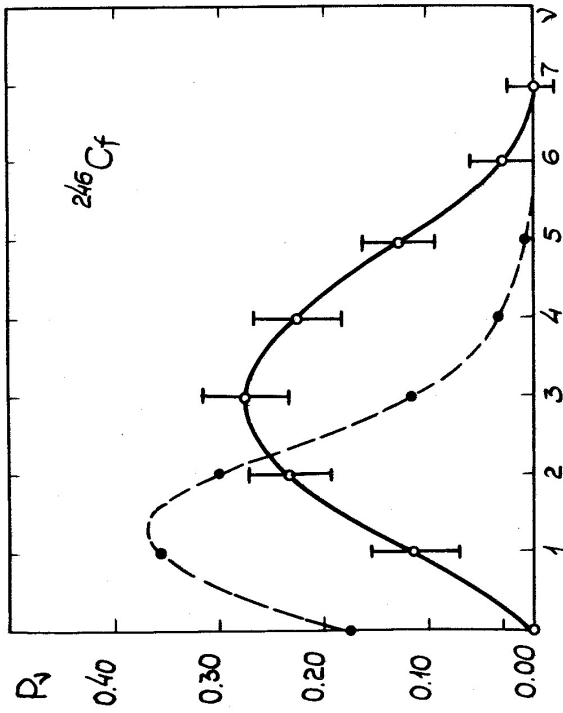


Рис. 4. Распределение числа нейтронов, испускаемых при спонтанном делении ^{246}Cf /сплошная линия/, P_ν . Пунктиром показан экспериментальное распределение множественности регистрируемых нейтронов, P_ν .

Таблица I.
**Распределения множественности мгновенных
 нейтронов при спонтанном делении ^{246}Cf и ^{244}Cm .**

	^{246}Cf	^{244}Cm
P_0	0.000 ± 0.027	0.031 ± 0.005
P_1	0.112 ± 0.041	0.103 ± 0.014
P_2	0.233 ± 0.041	0.294 ± 0.020
P_3	0.274 ± 0.043	0.339 ± 0.020
P_4	0.222 ± 0.042	0.187 ± 0.019
P_5	0.128 ± 0.036	0.044 ± 0.019
P_6	0.031 ± 0.033	0.000 ± 0.017
P_7	0.000 ± 0.019	0.002 ± 0.010
\bar{V}	3.14 ± 0.09	2.69 ± 0.01^x
β_v	1.66 ± 0.31	1.290 ± 0.025
Γ_2	0.850 ± 0.031	0.807 ± 0.003

x) Принято в качестве стандарта.

Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Получателям изданий ОИЯИ предоставляется возможность самим проявить инициативу в бесплатной рассылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, репринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует это репринты (оттиски статей), уже опубликованных в научных журналах!

В ряде случаев мы сами обращаемся к научным учреждениям — на более крупным получателям наших изданий — с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3000 отдельных запросов на высылку изданий ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы отдельные издания следует направлять по адресу:

Москва,
 Главный почтамт, п/я 79.
 Издательский отдел
 Объединенного института
 ядерных исследований.

Адрес для рассылки всех публикаций в порядке обмена, а также бесплатной подписки на научные журналы:

Москва,
 Главный почтамт, п/я 79.
 Научно-техническая библиотека
 Объединенного института
 ядерных исследований.