

МГНОВЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ ПРИ СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ Cf^{246}

М. ДАКОВСКИЙ, Ю. А. ЛАЗАРЕВ, Ю. Ц. ОГАНЕСЯН,
Г. В. БУКЛАНОВ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

(Поступила в редакцию 2 октября 1972 г.)

Для спонтанного деления Cf^{246} ($\tau_{1/2} = 35,7$ 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 Cm^{244} . Детектор нейтронов деления на базе 36 пропорциональных He^3 -счетчиков, погруженных в замедлитель, обладал эффективностью регистрации 48,2%. Cf^{246} был получен в реакции $U^{238}(C^{12}, 4n)$ на циклотроне У-300 ЛЯР ОИЯИ.

Основной особенностью систематики средних чисел нейтронов на акти 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 Cf^{252} , 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 Cf^{250} и значительно уточнено по сравнению с [4] $\bar{\nu}$ для Cf^{254} . Для Cf^{246} , наиболее легкого из исследованных изотопов, имеется только один результат, $\bar{\nu} = 2,78 \pm 0,19$ ¹⁾, полученный в 1957 г. [4]. В настоящее время такая степень точности затрудняет систематизацию величин $\bar{\nu}$. Например, $\bar{\nu}$ для Cf^{246} меньше, чем $\bar{\nu} = 2,934 \pm 0,01$ для Cm^{246} [2]; для той же изобарной пары, но с $A = 250$, $\bar{\nu}(Cf)$ превышает $\bar{\nu}(Cm)$ на 0,22, согласно [3]. Распределение множественности мгновенных нейтронов известно только для одного из изотопов калифорния, имени Cf^{252} . В связи с этим в настоящей работе измерялись среднее число и распределение множественности нейтронов P_ν при спонтанном делении Cf^{246} .

Изотоп Cf^{246} , обладающий периодом полураспада 35,7 час [6], получался в ядерной реакции $U^{238}(C^{12}, 4n)$, сечение которой составляет 62 мкб при энергии ионов 67,5 Мэв [7]. Наклонная мишень из металлического U^{238} облучалась в течение 15 час внутренним пучком ионов C^{12} интенсивностью $\approx 3 \cdot 10^{13}$ частица/сек, ускоренных на циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Поверхностный слой облученной мишени растворялся в концентрированной соляной кислоте и далее методом ионно-обменной хроматографии на колонке со смолой Dowex 1×4 отделялась фракция трансплутониевых элементов. Несмотря на значительное сечение реакции и высокую интенсивность пучка ионов, что позволило накопить

¹⁾ В оригинальной работе сообщается значение $2,92 \pm 0,19$, измеренное как указано в [5], относительно $\bar{\nu} = 2,257$ для Pu^{240} . Приведенное значение получено перенормировкой к $\bar{\nu} = 2,150 \pm 0,008$ для Pu^{240} , определенному по многим измерениям в [4].

около $6 \cdot 10^8$ атомов калифорния, исследования мгновенных нейтронов сильно затруднены малой относительной вероятностью спонтанного деления Cf^{246} , равной $2 \cdot 10^{-6}$ [6].

Измерения проводились методом параллельной регистрации нейтронов Cf^{246} и Cm^{244} , служившего стандартом для определения эффективности,

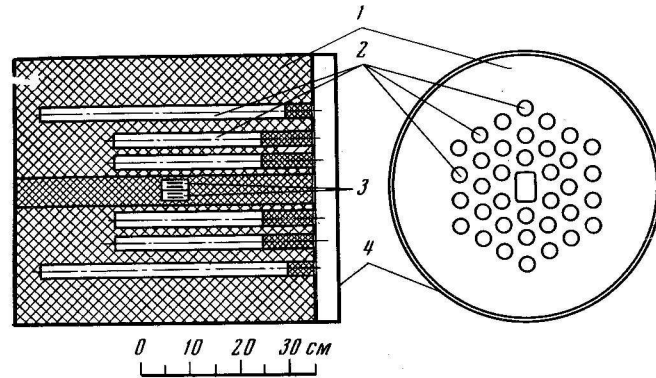


Рис. 1. Схема детектора нейтронов. 1 — замедлитель (плексиглас), 2 — пропорциональные He^3 -счетчики, 3 — камеры с источниками делений и $\text{Si}(\text{Au})$ -детекторами, 4 — металлический экран

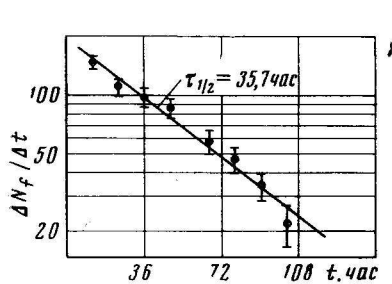


Рис. 2

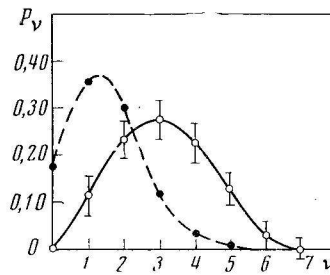


Рис. 4

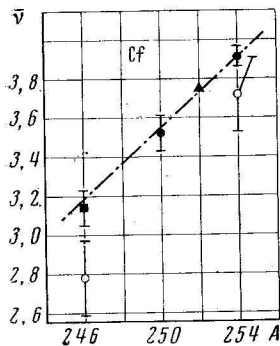


Рис. 3

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. Точки: ●, ○ — экспериментальные данные работ соответственно [3] и [4]; ▲ — рекомендованное значение $\bar{\nu}$ для Cf^{252} [10]; ■ — результат настоящей работы

Рис. 4. Распределение числа нейтронов, испускаемых при спонтанном делении Cf^{246} (сплошная линия), P_v . Пунктиром показано экспериментальное распределение множественности регистрируемых нейтронов, F_n

в совпадении с соответствующим осколком деления. Использовался анализатор нейтронов деления на линии с малой ЭВМ ТРА-1001, подробное описание которого содержится в [8]. Детектор нейтронов (рис. 1) содержал 36 пропорциональных He^3 -счетчиков, погруженных в замедлитель из плексигласа. В центре замедлителя располагались две независимые камеры с поверхностно-барьерными $\text{Si}(\text{Au})$ -детекторами для регистрации ос-

колков деления; в одной из камер находился исследуемый источник, Cf^{246} , в другой — эталонный, Cm^{244} . Эффективность регистрации нейтронов деления, основанная на $\bar{\nu} = 2,69$ для Cm^{244} [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 осколок деления. Информация накапливалась в памяти ЭВМ, одновременно с этим обрабатывалась и представлялась на экране осциллоскопа или на печати телетайпа.

Измерения продолжались около 100 час; при этом зарегистрировано 65015 актов деления Cm^{244} и 606 делений в исследуемом источнике. Временное распределение последних (рис. 2) хорошо согласуется с периодом полураспада Cf^{246} , равным 35,7 час. Используя данные [7, 9] о вероятностях образования в реакции

Распределения множественности мгновенных нейтронов при спонтанном делении Cf^{246} и Cm^{244}

	Cf^{246}	Cm^{244}
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	$0,000 \pm 0,019$	$0,002 \pm 0,010$
$\bar{\nu}$	$3,14 \pm 0,09$	$2,69 \pm 0,01^*$
$\sigma_{\bar{\nu}}^2$	$1,66 \pm 0,31$	$1,290 \pm 0,025$
Γ_2	$0,850 \pm 0,031$	$0,807 \pm 0,003$

* Принято в качестве стандарта.

результат $\bar{\nu} = 3,14 \pm 0,09$ для Cf^{246} ; основной вклад в ошибку вносит статистика числа наблюдавшихся делений. Величина $\bar{\nu}$, полученная в настоящей работе, заметно выше результата [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 $A = 246 \div 254$ хорошо аппроксимируется прямой линией с наклоном $\Delta\bar{\nu} / \Delta A |_{\Delta A=2} = 0,18 \pm 0,03$ (рис. 3); линейная зависимость примерно с таким же наклоном имеет место и для чётно-чётных изотопов кюрия при $A = 242 \div 250$ [2, 3].

Распределения числа нейтронов P_{ν} восстанавливались по экспериментальным распределениям множественности регистрируемых нейтронов P_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 $\sigma_{\bar{\nu}}^2 = \langle \nu^2 \rangle - \bar{\nu}^2$ и параметр формы $\Gamma_2 = [\langle \nu^3 \rangle - 3\bar{\nu}^2] / \bar{\nu}^2$ — определялись непосредственно по экспериментальным данным:

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

где F_n — вероятность регистрации n нейтронов в одном акте деления (регистрируемое распределение множественности),

$$\sum_{n=0}^{n_{max}} F_n = 1, \quad \langle n^2 \rangle = \sum_{n=0}^{n_{max}} n^2 F_n,$$

ε — эффективность детектора нейтронов. Результаты приводятся на рис. 4 и в таблице.

Распределение множественности нейтронов для Cm^{244} , полученное в настоящей работе, находится в хорошем согласии с данными более ранних измерений [12, 13]. По сравнению с этим распределение числа нейтронов для Cf^{246} обладает заметно большей дисперсией, которая в пределах экспериментальной ошибки совпадает с $\sigma^2 = 1,618$, определенной в работе [14] для Cf^{252} . 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 Терреллом [16].

Авторы благодарят Г. Н. Флёрова 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, V. A. Konshin. Report INDC (NDS)-34/U, IAEA, Vienna, June 1971.
- [2] Л. И. Прохорова, В. Г. Нестеров, Г. Н. Смиренкин. Препринт ФЭИ-300, Обнинск, 1971.
- [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, Englewood Cliffs, New Jersey, 1964, p. 217.
- [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, 4000, 1968.
- [8] М. Даковский, Ю. А. Лазарев, И. Ланг, О. К. Нефедьев, М. С. Бирюлев. Сообщения, 13-6520, ОИЯИ, 1972.
- [9] T. Sikkeland, S. G. Thompson, A. Ghiorso. Phys. Rev., 112, 543, 1958.
- [10] G. C. Hanna, C. H. Westcott, H. D. Lemmel, B. R. Leonard, Jr., J. S. Story, 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. Terrell. Phys. Rev., 101, 4012, 1956.
- [13] D. A. Hicks, J. Ise, Jr., R. V. Pyle. Phys. Rev., 101, 4016, 1956.
- [14] E. Baron, J. Frehaut, F. Ouvry, M. Soleilhac. Nuclear Data for Reactors, vol. II, IAEA, Vienna, 1967, p. 57.
- [15] М. Даковский, Ю. А. Лазарев, Ю. Ц. Оганесян. ЯФ, 16, 1167, 1972.
- [16] J. Terrell. Phys. Rev., 103, 783, 1957.

PROMT NEUTRONS FROM SPONTANEOUS FISSION OF Cf^{246}

M. DAKOVSKI, Yu. A. LAZAREV, Yu. Ts. OGANESYAN,
G. V. BUKLANOV

For spontaneous fission of Cf^{246} ($\tau_{1/2} = 35,7$ hours) the distribution of the prompt neutron multiplicity P , is measured and their average number $\bar{\nu} = 3,14 \pm 0,09$ relative $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,01$ for Cm^{244} is determined. The detection efficiency of the neutron fission detector based on 36 proportional He^3 counters immersed in the moderator was 2%. Cf^{246} was obtained from reaction $\text{U}^{238}(\text{C}^{12}, 4n)$ on the cyclotron U-300 of the Nuclear Reactions Laboratory of the Joint Institute for Nuclear Research.