

Сравнение результатов определения $N_{\alpha}N_{sf}$

Методы регистрации	N_{α}/N_{sf}	Погрешность	Данные
Полупроводниковый детектор	31,3	$\pm 0,2$	Работы [1]
То же	31,5	$\pm 0,3$	Настоящей работы
Толстослойная фотоэмульсия	31,1	$\pm 0,5$	То же
Средневзвешенное из 3-х значений	31,34	$\pm 0,08$	—

совпадают и хорошо согласуются с результатом работы [1] (см. таблицу).

Взяв значение полной константы распада Cf^{252} из работы [2] $\lambda = (7,212 \pm 0,017) \cdot 10^{-4}$ дней $^{-1}$ и средневзвешенное значение отношения $\frac{N_{\alpha}}{N_{sf}} = 31,34 \pm 0,08$,

получим константу спонтанного деления Cf^{252} , равную

$$\lambda_{sf} = (2,227 \pm 0,011) \cdot 10^{-5} \text{ дней}^{-1}.$$

Это дает величину периода полураспада по спонтанному делению Cf^{252} , равную

$$T_{sf} = 85,2 \pm 0,4 \text{ года}.$$

Авторы приносят благодарность Н. А. Перфилову и К. А. Петржаку за интерес к работе, а также С. А. Баранову, В. М. Шатинскому, В. М. Кулакову за изменение изотопного состава использованного калифорния.

Поступило в Редакцию 9/X 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Metta et al. J. Inorg. and Nucl. Chem., 27, 33 (1965).
2. A. De-Volpi, K. Porges. Inorg. Nucl. Chem. Letters, 5, 111 (1969).
3. L. Magnusson et al. Phys. Rev., 96, 1576 (1954).
4. K. Serier. Nucl. Instrum. and Methods, 14, 318 (1961).

Сечение деления Np^{237} медленными нейтронами

Г. А. ГАВРИЛОВ, К. К. КОШАЕВА, С. Н. КРАЙТОР,
Л. Б. ПИКЕЛЬНЕР

Изучение деления Np^{237} представляет значительный интерес. Это связано, с одной стороны, с тем, что Np^{237} — первый изотоп, на котором наблюдалась промежуточная структура в подбарьерном делении [1, 2]. С другой стороны, Np^{237} нашел широкое распространение в качестве порогового детектора нейтронов, так как его сечение деления для нейтронов с энергией ниже 0,7 Мэв резко падает. В частности, в работе [3] описано применение Np^{237} вместе с другими делящимися веществами для измерения нейтронных потоков с помощью полупроводниковых детекторов. В работе [4] рассчитаны эффективные сечения и энергетический порог Np^{237} для некоторых спектров нейтронов. Однако учет подбарьерного деления в указанных работах не проводился. Вместе с тем наличие его может привести при определении потока нейтронов к существенным ошибкам, причем наиболее значительными они будут при измерениях за защитой реакторов, где спектры нейтронов сравнительно мягкие.

Имея все это в виду, мы провели измерения сечения деления Np^{237} нейтронами с энергией 10^{-2} — 10^3 эв.

Методика измерений. Измерения были выполнены по методу времени пролета на импульсном реакторе ИБР-ОИИИ в режиме работы с микротроном [5]. Пролетное расстояние составляло 16,3 м, разрешение 0,25 мксек/м. Осколки деления Np^{237} регистрировались сцинтилляционным детектором, аналогичным описанному в работе [6]. Детектор состоял из слоя люминофора марки ФС-1 (на основе ZnS) толщиной около 3 мг/см 2 и фотомножителя ФЭУ-56. На выходе фотомножителя была собрана схема разделения импульсов от осколков деления и α -частиц по времени высвечивания. После дискриминации импульсы от осколков через эмиттер-

ный повторитель поступали в измерительный центр на 2048-канальный временной анализатор.

Для измерений использовали мишень из Np^{237} с общим числом ядер $4 \cdot 10^{19}$. Мишень приготавливали путем нанесения на алюминиевую подложку раствора исходного продукта в лаке. В состав лака входила смесь трех компонентов: 3%-ного раствора нитрата целлюлозы в амилацетате, ацетона и спирта. Вещество мишени наносили послойно с последующим выжиганием при 550° С. Плотность каждого слоя не превышала 50 мг/см 2 , а окончательная толщина мишени составляла около 0,5 мг/см 2 окиси нептуния.

При измерении сечения деления Np^{237} наиболее мешающими возможными примесями являются Pu^{239} и U^{235} , имеющие большое сечение деления в области медленных нейтронов. Для обнаружения примеси Pu^{239} был измерен α -спектр мишени с помощью полупроводникового спектрометра. При чувствительности метода, позволяющей обнаружить $2 \cdot 10^{-3}\%$ Pu^{239} в образце, следов плутония не было замечено. Содержание U^{235} , который не мог быть обнаружен по α -спектру с достаточной точностью, оценили по сильным резонансам с энергией 8,8 и 12,4 эв и по тепловой области. В последнем случае тепловое сечение Np^{237} принималось равным 19 мбарн [7]. Было найдено, что примесь урана составляла $(1,5-2) \cdot 10^{-2}\%$.

Эффективность ϵ_f регистрации делений детектором была определена по делению нептуния нейтронами $Pu + \text{Ве}$ -источника и по спонтанному делению Cm^{244} . Сопоставляющиеся результаты обеих калибровок дали значение эффективности, равное $(40 \pm 5)\%$. Для определения потока нейтронов был использован калиброванный борный счетчик. Кроме того, в одной из серий

УДК 539.125.5.162.2

провели измерение с заменой нептуниевой мишени на мишень из U^{235} . Это измерение подтвердило правильность полученной ранее величины произведения потока нейтронов на эффективность детектора.

Результаты измерений представлены на рис. 1 в виде зависимости сечения деления от энергии нейтронов. В сечении деления наблюдаются четкие максимумы при энергиях 40, 120, 205, 250 эв. Так как среднее расстояние между резонансами Np^{237} , полученное при измерении пропускания в работе [1], составляет 0,67 эв, то отмеченная структура включает большие группы уровней, усредненных по функции разрешения. Такая промежуточная структура согласуется с наблюдавшимися ранее [1] значительными флуктуациями в ходе сечения деления Np^{237} и объясняется существованием второго минимума потенциальной энергии в функции деформации [8].

Наблюдение изолированных резонансов при нашем разрешении возможно лишь в области энергии ниже 10 эв. Обработка этих уровней проводилась с использованием выражения для площади резонанса:

$$\sum_i N_i = \Pi(E) \epsilon_f \frac{\pi}{2} n \sigma_0 \Gamma_f, \quad (1)$$

где $\sum_i N_i$ — сумма отсчетов под резонансом; $\Pi(E)$ — число нейтронов, падающих на мишень за время измерения в интервале энергии 1 эв; ϵ_f — эффективность регистрации акта деления; n — толщина мишени, ядра/см²; σ_0 — полное сечение в максимуме; Γ_f — делительная ширина.

В таблице приведены экспериментальные значения $\sigma_0 \Gamma_f$ и найденные из них делительные ширины Γ_f . При этом использовались приведенные в четвертом столбце таблицы значения $g\Gamma_n$, взятые из работы [1]. Радиационная ширина везде принималась равной 40 мэв. Для сравнения в таблице приведены значения $\sigma_0 \Gamma_f$ из [1]. Видно, что наши результаты в 1,5–2 раза выше, чем результаты работы [1]. Пока трудно объяснить это систематическое расхождение. Возможно, что оно связано с наличием большого (по вкладу в число делений) количества U^{235} в образце, использованном во французской работе. Примесь U^{235} у них составляла 0,8%.

Рассмотрим роль подбарьерного деления при использовании Np^{237} в качестве порогового детектора нейтронов. Как известно, в этом случае действительную зависимость сечения деления от энергии $\sigma_f(E)$ заменяют эффективным сечением, которое выше энергетического порога считают постоянным, а ниже порога — нулевым. При этом связь эффективного сечения σ_f эфф

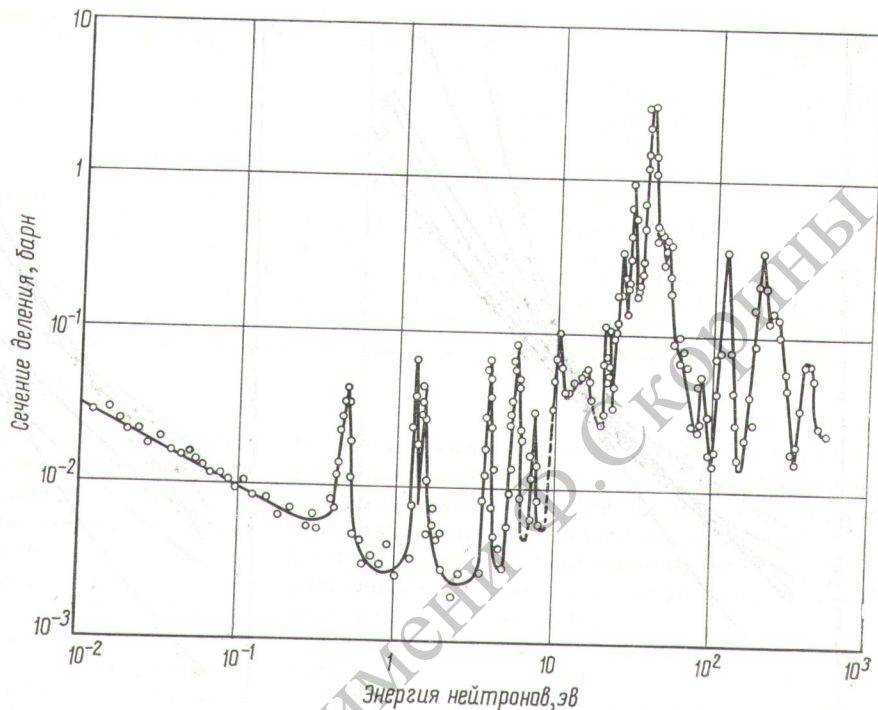


Рис. 1. Зависимость сечения деления Np^{237} от энергии нейтронов.

и энергетического порога $E_{пор}$ определяется соотношением

$$\sigma_f \text{ эфф} \int_{E_{пор}}^{\infty} \Pi(E) dE = \int_0^{\infty} \sigma_f(E) \Pi(E) dE. \quad (2)$$

Поскольку эти величины зависят от $\Pi(E)$, то имеет смысл рассчитать σ_f эфф как функцию $E_{пор}$ для различных действующих спектров нейтронов. Такие расчеты были проведены для двух вариантов $\sigma_f(E)$ в правой части выражения (2). В первом варианте предполагалось, что сечение деления в области энергии нейтронов ниже 100 кэв равно нулю, а во втором использовалось экспериментальное значение $\sigma_f(E)$ при $E_n < 1$ кэв и значение 20 мбарн в интервале 1–100 кэв. Для области выше 100 кэв в обоих случаях использовались данные из работы [9]. Результаты для нескольких сильно отличающихся спектров нейтронов приведены соответственно на рис. 2, а и б. Были выбраны спектры

Параметры уровней Np^{237}

E_0 , эв	$\sigma_0 \Gamma_f$, барн·эв	Γ_f , мкэв	$g\Gamma_n$, мэв [1]	$\sigma_0 \Gamma_f$, барн·эв [1]
0,49	$(2,9 \pm 0,7) \cdot 10^{-3}$	1,3	0,016	—
1,32	$(3,8 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	4,1	0,0187	$(2,5 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$
1,48	$(3,5 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	1,1	0,0725	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$
1,97	$(1,9 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	8,4	0,0083	—
3,88	$(16 \pm 4) \cdot 10^{-3}$	7,8	0,122	$(8,9 \pm 1,2) \cdot 10^{-3}$
5,80	$(46 \pm 9) \cdot 10^{-3}$	13	0,311	$(19 \pm 3) \cdot 10^{-3}$
7,5	$(12 \pm 6) \cdot 10^{-3}$	19	0,073	—

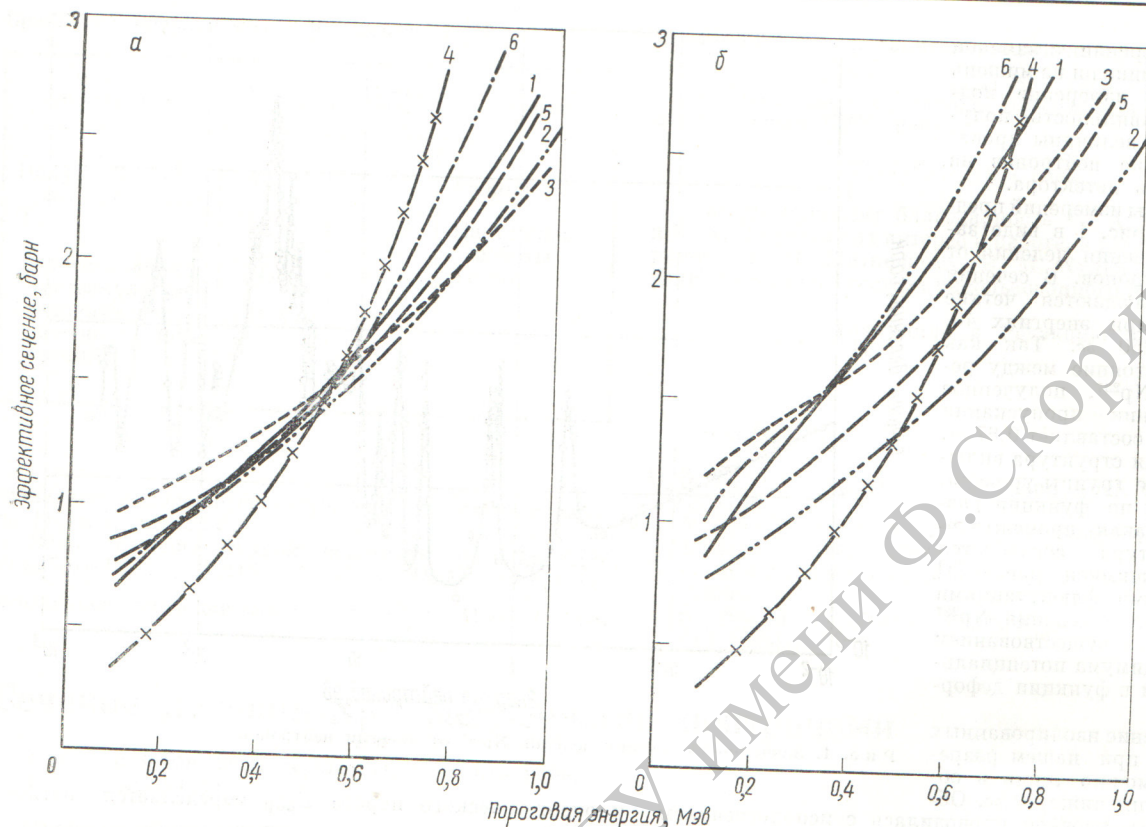


Рис. 2. Зависимость эффективного сечения деления Np^{237} от энергетического порога без учета (а) и с учетом (б) подбарьерного деления для разных действующих спектров нейтронов: 1 — $1/E$; 2 — спектр деления; 3 — за защитой из углерода; 4 — за защитой из железа; 5 — за защитой реактора «Наядда»; 6 — за защитой реактора «Рашель».

$1/E$ и деления, спектры нейтронов деления за защитой из углерода и железа [10], а также за защитой реакторов «Найда» и «Рашель» [11].

Из рис. 2, а видно, что если не учитывать подбарьерное деление, то можно было бы указать значения σ_f эфф и $E_{\text{пор}}$, соответственно равные 1,50 барн и 0,55 Мэв, которые являются общими для всех спектров нейтронов и действительно могут быть рекомендованы для вычисления потока нейтронов по делению Np^{237} . Однако наличие подбарьерного деления не позволяет это сделать, так как (см. рис. 2, б) нет таких σ_f эфф и $E_{\text{пор}}$, которые с достаточной точностью одновременно удовлетворяют приведенным спектрам.

При измерении нептуниевым детектором доля потока, на которую он будет завышен из-за счета делений, вызванных медленными нейтронами, определяется выражением

$$\eta = \frac{\int_0^{\infty} \sigma_f(E) \cdot \Pi(E) dE - \int_{0,1 \text{ Мэв}}^{\infty} \sigma_f(E) \cdot \Pi(E) dE}{\int_{0,1 \text{ Мэв}}^{\infty} \sigma_f(E) \cdot \Pi(E) dE} \quad (3)$$

Результаты расчета величины η для различных спектров приведены далее:

Спектр	$1/E$	Спектр деления	За защитой из углерода	За защитой из железа	За защитой реактора «Найда»	За защитой реактора «Рашель»
$\eta, \%$	32,1	0,4	23,2	1,4	22,0	49,2

Из этих данных видно, что, если для жестких спектров нейтронов (спектр деления, нейтроны деления за защитой из железа), ошибкой можно пренебречь, то для мягких спектров она доходит до 49%. Следовательно, применение Np^{237} в качестве порогового детектора без предварительной информации о характере действующего спектра нейтронов не представляется возможным.

Вместе с тем вклад подбарьерного деления можно уменьшить, если проводить измерения нептуниевым детектором, закрытым слоем B^{10} , который будет поглощать медленные нейтроны. Аналогичный расчет для этого случая показывает, что при толщине B^{10} , равной 0,5 г/см², даже для мягких спектров ошибка не превышает 2—4%; это является вполне приемлемым.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Ф. Л. Шапиро, И. Б. Кеирим-Маркуса и Э. И. Шарапова за полезные обсуждения

и интерес к работе, А. Я. Кушнерева, Г. М. Петрова и Н. Т. Хотько за помощь в изготовлении детектора и проведении измерений.

Поступило в Редакцию 19/VI 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Paya et al. Nucl. Data for Reactors. Vienna, IAEA, II, 128 (1967); A. Fubini et al. Phys. Rev. Letters, 20, 1373 (1968).
2. E. Migneco, J. Theobald. Nucl. Phys., A112, 603 (1968).
3. D. Strominger. Neutron Dosimetry, Vienna, IAEA, II, 383 (1963).
4. K. Humpherys. Neutron Dosimetry. Vienna, IAEA, II, 487 (1963).
5. L. Pikelner, V. Rudenko. Research Applic. of Nucl. Pulsed Systems. Vienna, IAEA, 165 (1967).
6. С. Н. Крайтор. «Приборы и техника эксперимента», вып. 3, 63 (1968).
7. И. Халперн. Деление ядер. М., Физматгиз, 1962.
8. V. Strutinsky. Nucl. Phys., A95, 420 (1967).
9. BNL-325. Sec. ed., Suppl. 2 (1965).
10. И. А. Бочвар и др. Neutron Monitoring Proc. Symp. Vienna, IAEA, 459 (1967).
11. G. Benezech, H. Zaborowski. Proc. Symp. Pers. Dosimetry. Vienna, 349 (1965).

К сведению авторов

Авторы, направляющие свои рукописи в журнал «Атомная энергия», должны руководствоваться следующими требованиями:

1. Тексты и иллюстративные материалы представляются в трех экземплярах в окончательно отработанном для печати виде.

Содержание статьи должно быть изложено с предельной ясностью и краткостью. Следует избегать повторения данных таблиц и графиков, а также представления численных результатов в виде таблиц и графиков одновременно.

2. Объем обзорных статей, как правило, не должен превышать 20—22 стр., оригинальных статей — 10—12 стр., аннотаций депонированных статей — 2 стр., писем в редакцию — 5 стр. машинописного текста (включая рисунки с подписями, таблицы и библиографию).

3. К статьям и письмам в редакцию должны быть приложены рефераты, составленные по правилам реферативных журналов, с четко сформулированной целью и результатами работы.

4. Статьи и рисунки должны быть подписаны всеми авторами. К рукописи необходимо приложить точный адрес, номер телефона, фамилию, полное имя и отчество авторов.

5. Названия всех работ, присылаемых в редакцию, должны быть переведены на английский язык, фамилии и инициалы авторов даны в английской транскрипции. Кроме того, рефераты к статьям должны быть переведены на английский язык (в строгом соответствии с русским рефератом).

6. Цитируемая литература приводится в конце работы общим списком с указанием:

а) для журнальных статей: инициалов и фамилий авторов, названия журнала, номера тома (подчеркнуть) или выпуска, страницы и года (в круглых скобках).

б) для книги: инициалов и фамилий авторов, полного названия книги, места издания, изда-

тельства и года издания; для иностранных книг указываются также данные русского перевода;

в) для статей в сборниках: инициалов и фамилий авторов статьи, название сборника, инициалов и фамилии составителя или редактора сборника, части, выпуска, места издания, издательства, года и страницы.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

7. Текст рукописей должен быть напечатан на машинке через два интервала по 28—29 строк на одной стороне листа с полями не уже 4 см; рукописные вставки не допускаются.

8. Оформление текста (написание формул, выделение греческих и латинских, строчных и прописных букв, сокращение слов и т. д.) производится в соответствии с общими правилами, принятыми для научно-технических журналов. Трудно различимые в рукописном обозначении буквы и знаки должны быть пояснены на полях.

9. Прилагаемые к тексту таблицы нумеруются по порядку, каждая таблица должна иметь заголовок.

10. Рисунки выполняются черной тушью на бумаге размером 15×20 см; фотографии должны иметь контрастные изображения, размер фотографий 12×18 см.

11. Подписи к рисункам прилагаются на отдельном листе. В тексте должны быть ссылки на рисунки.

12. Редакция посылает автору только одну корректуру, которую необходимо вернуть в предельно короткий срок.

КАК ПРАВИЛО, В ЖУРНАЛЕ МОЖЕТ БЫТЬ НАПЕЧАТАНО НЕ БОЛЕЕ ДВУХ ПУБЛИКАЦИЙ ОДНОГО И ТОГО ЖЕ АВТОРА В ГОД.

Рукописи, не соответствующие этим требованиям, не рассматриваются. Отклоненные статьи не возвращаются.