

P3-2004-125

Ю. П. Гангрский, К. Гладнишки, В. И. Жеменик¹,
Г. В. Мышинский, Ю. Э. Пенионжкевич, Е. А. Сокол

РЕГИСТРАЦИЯ β -ЗАДЕРЖАННОЙ
ДВУНЕЙТРОННОЙ ЭМИССИИ
ИЗ ОСКОЛКОВ ФОТОДЕЛЕНИЯ ^{238}U

Доклад на 54-м Международном совещании по ядерной
спектроскопии и структуре атомного ядра.
Направлено в журнал «Известия РАН, сер. физ.»

¹Институт ядерных исследований НАНУ, Киев, Украина

Гангрский Ю. П. и др.
Регистрация β -задержанной двунейтронной эмиссии
из осколков фотоделения

P3-2004-125

Проведены эксперименты по детектированию задержанной эмиссии двух нейтронов из осколков фотоделения ^{238}U , получаемых на микротроне МТ-25 ЛЯР ОИЯИ. Осколки деления из реакционной камеры доставлялись к детектору нейтронов аэрозольной газовой струей азота по тонкому капилляру диаметром 2 мм. Эффективность регистрации нейтронов детектором составляла $\varepsilon_n = 0,49$ для одиночных нейтронов и $\varepsilon_{2n} = 0,24$ для двойных. Время доставки осколков от мишени до детектора нейтронов составляло около 0,5 с, в детекторе осколки находились около 2,5 с. В эксперименте наблюдается двунейтронная активность с отношением к одиночным запаздывающим нейтронам $\sim 4,2 \cdot 10^{-4}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Gangrsky Yu. P. et al.
Registration of the β -Delayed Two-Neutron Emission
from the Photofission Fragments of ^{238}U

P3-2004-125

The β -delayed two-neutron emission was observed from photofission fragments of ^{238}U , received on microtron MT-25 at FLNR, JINR. Fission fragments from the reaction chamber were transported to the neutron detector by a nitrogen aerosol gas jet through a thin capillary 2 mm in diameter. The efficiency of the neutron detector was $\varepsilon_n = 0.49$ for single neutrons and $\varepsilon_n = 0.24$ for double neutrons. The transportation time was about 0.5 s, the transmission time of fragments through the detection zone was about 2.5 s. In experiments two-neutron activity with the attitude to single neutrons $4.2 \cdot 10^{-4}$ was observed.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

Бета-задержанная двунейтронная эмиссия, предсказанная В.И.Гольданским в 1960 г. [1], была впервые наблюдена в нейтронно-избыточном изотопе лития-11 [2], а впоследствии в изотопах натрия: Na-30, -31, -32 [3]. Эмиссия β -задержанных нейтронов, в том числе и множественная, может ожидать для ядер с высокой энергией β -распада и низкой энергией отделения нейтронов.

Эмиссия нескольких запаздывающих нейтронов наблюдалась как для целого ряда легчайших нейтронно-избыточных ядер, так и для осколков деления (табл. 1). В скобках приведены экспериментально полученные вероятности и ошибки (в процентах) испускания от одного до четырех β -запаздывающих нейтронов [2–4]. Для осколков деления множественная β -задержанная эмиссия нейтронов экспериментально наблюдалась только для двух ядер: ^{98}Rb и ^{100}Rb [4], табл. 1, и предсказывалась для нескольких других ядер [5–8], табл. 2.

Мы провели эксперименты по детектированию задержанной эмиссии двух нейтронов из осколков фотоделения $^{238}\text{U}(\gamma, f)$, получаемых на пучке тормозного γ -излучения на микротроне МТ-25 ЛЯР ОИЯИ [9].

В экспериментах по наблюдению β -задержанной двунейтронной эмиссии из осколков деления использовалась методика газовой струи с аэрозолями. Продукты деления, после торможения и остановки в газе, осаживались на аэрозоли и вместе с газом транспортировались с эффективностью $\sim 70\%$ по капилляру до детектора нейтронов.

В экспериментах использовалась цилиндрическая реакционная камера объемом $6,4\text{ см}^3$, с торцов которой располагались две однослойные урановые мишени диаметром 18 мм. Расстояние между мишенями составляло 12 мм. В качестве мишеней использовалась окись урана U_3O_8 , нанесенная на алюминиевую фольгу 100 мкм и $\varnothing 26$ мм. Плотность мишеней составляла 3,3 и 3,4 мг/см². Ввод и вывод газа с аэрозолями осуществлялся через расположенные друг напротив друга входные и выходные отверстия, которые соединялись, соответственно, с системой подачи газа и выходным капилляром (рис. 1).

В качестве буферного газа использовался азот. В реакционной камере поддерживалось давление 2 атм. Газ вытекал из реакционной камеры по капилляру в атмосферу под действием избыточного давления. Применение

Таблица 1. Известные излучатели β -задержанных мультинейтронов

Нуклид	$T_{1/2}$, мс	xn	Pxn , %
^{11}Li	8,5	$2n$ $3n$	4,1(4) 1,9(2)
^{14}Be	14,5	$2n$ $3n$	0,80(8) 0,2(2)
^{15}B	10,4	$2n$	0,4(2)
^{17}B	5,1	$2n$ $3n$ $4n$	11(7) 3,5(7) 0,4(3)
^{30}Na	48	$2n$	1,17(16)
^{32}Na	13,5	$2n$	8(2)
^{34}Na	5,5	$2n$	~ 50
^{98}Rb	110	$2n$	0,38(6)
^{100}Rb	51	$2n$	2,7(7)

Таблица 2. Предсказанные вероятности β -задержанной двунейтронной эмиссии из осколков деления

Нуклид	$T_{1/2}$, мс	$Q_{\beta-2n}$, МэВ	P_{2n} , %	Y , 1/ f
^{86}As	0,90	1,33	0,02	$4,0 \cdot 10^{-4}$
^{94}Br	0,07	3,78	3,12	$1,3 \cdot 10^{-5}$
^{112}Nb	(0,10)	3,79	1,28	$6,1 \cdot 10^{-10}$
^{134}In	0,10	5,54	99	$2,7 \cdot 10^{-7}$
^{136}Sb	0,80	2,25	10,6 0,28	$3,3 \cdot 10^{-4}$
^{142}J	0,20	2,28	0,76	$5,3 \cdot 10^{-5}$
^{150}Cs	(0,15)	2,97	1,48	$1,3 \cdot 10^{-8}$

азота позволило останавливать в газе и собирать практически все осколки деления, вылетевшие из мишеней. Использование азота, а не гелия, при небольшом объеме камеры, с одной стороны, увеличило выход осколков в несколько раз, а с другой стороны, позволило сохранить короткие времена эвакуации и транспортировки (0,5 с) осколков деления из реакционной ка-

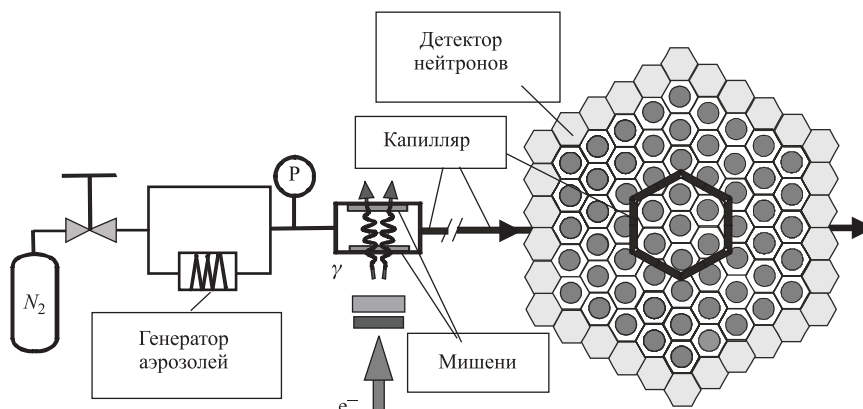


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

меры до детектора нейтронов. Для эффективного сбора и транспортировки осколков до детектора азот пропускаться через генератор аэрозолей. В качестве материала для аэрозолей служила соль KBr , нагреваемая до температуры $T = (640 \pm 10) \text{ C}$. Подробное описание генератора аэрозолей и режимов его работы приводится в работе [10].

Детектор нейтронов размещался на втором этаже, в комнате над микро-троном. Межэтажное бетонное перекрытие имело толщину 1,5 м. Длина капилляра от мишени до детектора составляла 9 м, внутри детектора нейтронов размещалось 30 м капилляра. После детектора нейтронов осколки уносились струей на 10 м и высаживались на волоконном фильтре. Выход фильтра был соединен с вытяжной спецвентиляцией. Это было сделано для того, чтобы радиоактивные инертные газы Kr , Xe и дочерные продукты их распада не попадали в пространство помещения детектора. Кроме того, чтобы избежать регистрации нейтронным детектором запаздывающих нейтронов, испускаемых из осколков с фильтра, последний помещался в полиэтиленовый куб, закрытый листами металлического кадмия.

Детектор нейтронов представлял собой сплошную цилиндрическую пяти-слойную сборку из 61-го пропорционального ^3He -счетчика, заполненного ^3He до давления 7 атм (рис. 1). Каждый счетчик длиной 50 см и диаметром 32 мм был окружен полиэтиленовой оболочкой, представляющей собой в поперечном сечении шестигранник с расстоянием между параллельными сторонами 5 см. Кроме того, детектор с внешней стороны был защищен от внешних нейтронов оболочкой, состоящей из борированного полиэтилена. Размещенная внутри нейтронного детектора 30-м часть капилляра была свернута в спираль диаметром 15 см вокруг семи центральных счетчиков.

Испущенные осколками деления β -задержанные нейтроны с энергиями до 1,5 МэВ за десяток микросекунд замедляются до тепловых скоростей и

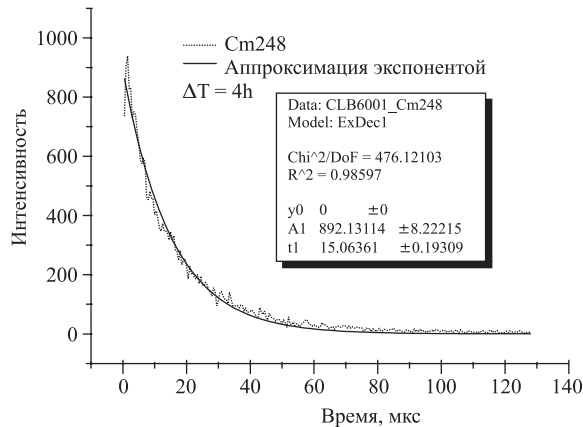


Рис. 2. Распределение по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации мгновенных нейтронов от спонтанного деления ^{248}Cm

затем либо захватываются веществом детектора, либо уходят из него. Благодаря большому сечению захвата тепловых нейтронов в реакции $^3\text{He} + n \rightarrow ^3\text{H} + p + 780 \text{ кэВ}$, равному 5700 б, значительная доля нейтронов захватывается ^3He , а испущенные в реакции протоны регистрируются ^3He -счетчиками, работающими в пропорциональном режиме.

Расчетное время доставки осколков от мишени до детектора нейтронов составляло около 0,5 с, в детекторе осколки находились около 2,5 с. Детектирование множественных нейтронов осуществлялось так [11]: после срабатывания любого из 61 счетчиков нейтронов открывалось временное окно 128 мкс, повторное срабатывание любого из счетчиков в данном интервале времени означало множественную регистрацию нейтронов. На рис. 2 приведено распределение по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации нейтронов спонтанного деления ^{248}Cm . Как видно из рисунка, мгновенные нейтроны деления имеют время жизни в детекторе, равное 15 мкс, и практически полностью регистрируются в течение 64 мкс после деления.

Поэтому при рассмотрении кратных нейтронных запаздывающих событий, рабочий спектр которых изображен на рис. 3, все события во временном интервале между зарегистрированными нейтронами от 64 до 128 мкс рассматривались как результат случайных совпадений. Таким образом, мы экспериментально измеряли уровень случайных совпадений, который при обработке результатов вычитался из кратных нейтронных событий со временем регистрации от 0 до 64 мкс. Основной фон при измерениях был связан именно со случайными совпадениями одиночных β -запаздывающих нейтронов. По этой причине средний счет одиночных нейтронов детектором пришлось уменьшить до уровня 10–15 шт./с. Эксперимент состоял из двух экспозиций по 8 часов каждая. На рис. 3 изображен суммарный спектр этих двух экспозиций.

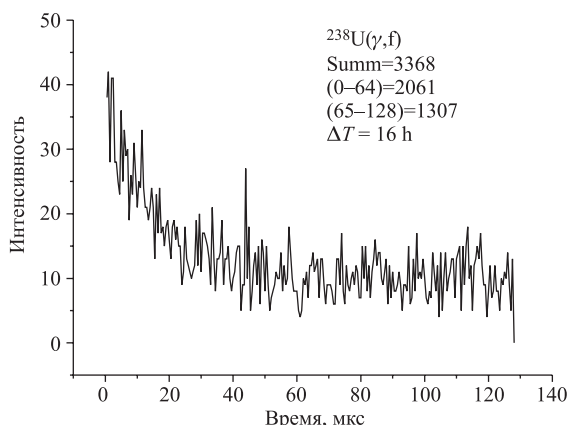


Рис. 3. Распределения по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации нейтронов при фотоделении ^{238}U

Для уменьшения фона от нейтронов, связанных с работой ускорителя МТ-25, фотоделение урана проводилось при энергии электронов $E_e = 10,5$ МэВ. При работе ускорителя на такой энергии счет нейтронов детектором не отличался от счета детектором при выключенном ускорителе.

В наших измерениях отсутствовала возможность организации каких-либо совпадений — например βn , γn , $\beta\gamma n$ — из-за того, что β - или γ -фоны были значительно выше нейтронного фона. Из-за отсутствия совпадений на результаты измерений становится существенным влияние космического фона от кратных нейтронов, связанных с ядерными реакциями космических протонов, нейтронов, мюонов на материалах среды, окружающей детектор нейтронов. Результаты измерений этого фона представлены на рис. 4. Поправки на этот источник фона также были учтены при анализе результатов.

Эффективность регистрации одиночных нейтронов детектором составила $\varepsilon_n = 0,49$, а двукратных нейтронов $\varepsilon_{2n} = 0,24$. Определялись эти величины с помощью калиброванного источника нейтронов изотопа ^{248}Cm , имеющего среднее число испущенных нейтронов на один акт спонтанного деления, равное $\bar{\nu} = 3,134$. Зная вероятность испускания источником ^{248}Cm двух, трех и четырех нейтронов и измеряя их отношение для данного детектора нейтронов: $N_2/N_3 = 2,48 \pm 0,06$ и $N_3/N_4 = 3,92 \pm 0,16$, можно определить эффективность регистрации детектором одиночных нейтронов.

После вычитания из рабочего спектра всех источников фона и учета эффективности регистрации как для одиночных нейтронов, так и для двойных совпадений было установлено, что для данных временных условий (время транспорта и нахождения в детекторе) средний счет двукратных β -запаздывающих нейтронов из осколков фотоделения ^{238}U составляет $(9,0 \pm 1,0)$ шт./ч. Это соответствует соотношению $2n/1n = 4,2 \cdot 10^{-4}$. Экспериментальный

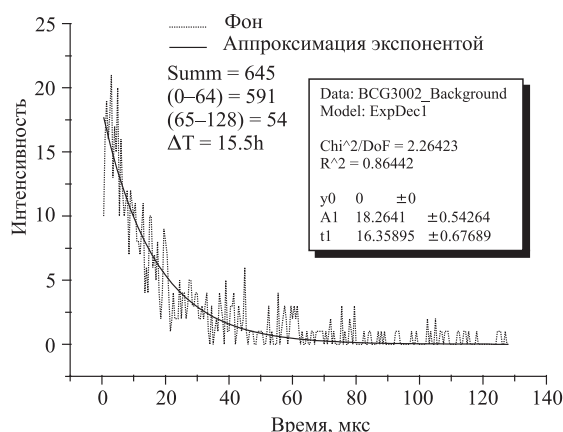


Рис. 4. Распределения по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации нейтронов от космического излучения

результат, таким образом, может быть сформулирован как наблюдение дву-нейтронной β -запаздывающей активности для осколков фотоделения. При этом эта активность не может быть объяснена за счет ^{98}Rb и ^{100}Rb с учетом времен их жизни, относительным выходом этих осколков при фотоделении урана: $2,8 \cdot 10^{-7}$ и $3,9 \cdot 10^{-9}$, соответственно, и относительной интенсивности $2n/1n$. С учетом имеющихся теоретических предсказаний наиболее интересны ядра, указанные в табл. 2, из которых особенно перспективно для исследований ядро ^{136}Sb . Если отнести всю наблюдавшуюся двунейтронную активность на счет распада ^{136}Sb , то $P_{\beta-2n} = (2,0 \pm 0,2)\%$ для ^{136}Sb (выход ^{136}Sb в реакции фотоделения ^{238}U принят равным $6,22 \cdot 10^{-4}$, как и при делении этого изотопа урана нейтронами высокой энергии [12]). Согласно теоретическим предсказаниям [13] эмиссия β запаздывающих нейтронов ожидается для других ядер с $A = 136$: ^{136}Cd : $T_{1/2} = 30-130$ мс, $P_{\beta n} = 44-100\%$; ^{136}In : $T_{1/2} = 30-70$ мс, $P_{\beta n} = 57-100\%$, однако выход их при фотоделении урана значительно меньше, чем у сурьмы.

В заключение авторы выражают благодарность М. Г. Иткису, Ю. Ц. Оганесяну и С. Н. Дмитриеву за постоянный интерес и поддержку работы, Г. В. Букланову за изготовление мишеней и А. Г. Белову за проведение облучений на микротроне. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 04-02-16955) и ИНТАС (грант № 2000-00463).

ЛИТЕРАТУРА

1. Goldansky V. I. // Nucl. Phys. 1960. V. 19. P. 482
2. Azuma R. E. et al. // Phys. Rev. Lett. 1979. V. 43. P. 1652.

3. *Detraz C. et al.* // Phys. Lett. B. 1980. V. 94. P. 307.
4. *Reeder P.L. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1981. V. 47. P. 483–486;
Rudstam G. et al. // At. Data and Nucl. Data Tables. 1993. V. 53. P. 1–22.
5. *Lytostansky Yu.S., Panov I.V.* // Z. Phys. A — Atoms and Nuclei. 1983. V. 313. P. 235–238.
6. *Moller P., Nix J.R., Kratz K.L.* // ADNDT. 1997. V. 66. P. 131–340
7. *Wahl A.* // ADNDT. 1988. V. 39. P. 1–156.
8. *Audi G. et al.* // Nucl. Phys. A. 2003. V. 729. P. 3–128.
9. *Белов А.Г.* // Сообщение ОИЯИ Р9-82-301. Дубна, 1982.
10. *Звара И. и др.* // Сообщение ОИЯИ 12-80-48. Дубна, 1980.
11. *Sokol E.A. et al.* // Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Research. 1997. V. 400. P. 96–100.
12. *England T.R., Rider B.F.* LA-UR-94-3106, ENDF-349.
13. *Rfeiffer P., Kratz K.L.* arXiv: nucl-ex/0106020 v1 22.06.2001.

Получено 6 августа 2004 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 17.09.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,76. Тираж 305 экз. Заказ № 54598.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/