

31.10.05

мл

ISSN 0367-6765

Том 69, Номер 5

Май 2005

ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ



<http://www.maik.ru>

В журнале "Известия Российской академии наук. Серия физическая" печатаются научные материалы, доложенные на сессиях и совещаниях, созываемых Российской академией наук.



"НАУКА"

СОДЕРЖАНИЕ

Том 69, номер 5, 2005

Материалы LIV Международного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра

В. Е. Бунаков О применимости статистического подхода к описанию новых экспериментов по Т-нечетной асимметрии в тройном делении	614
С. Г. Кадменский Динамика и когерентные эффекты для тройного деления ядер	617
В. Е. Бунаков, С. Г. Кадменский, Л. В. Родионова Т-нечетные асимметрии для тройного деления ядер с вылетом частиц, обладающих ненулевым спином	625
Ю. П. Гангрский, К. Гладнишки, В. И. Жеменик, Г. В. Мышинский, Ю. Э. Пенионжкевич, Е. А. Сокол Регистрация β -задержанной двунейтронной эмиссии из осколков фотоделения ^{238}U	629
М. В. Евланов, А. М. Соколов, В. К. Тартаковский Резонансный процесс перезарядки $p + p \rightarrow (N\Delta) \rightarrow n + \Delta^{++}$	633
В. Т. Купряшкин, А. П. Лашко, Т. Н. Лашко, А. И. Феоктистов Энергии гамма-переходов и уровней ^{181}Ta в распаде ^{181}Hf	637
А. М. Суховой, В. А. Хитров, Ли Чер, В. А. Плюйко Плотность ядерных уровней и радиационные силовые функции каскадных γ -переходов при распаде компаунд-состояний ^{114}Cd и ^{124}Te	641
А. М. Суховой, В. А. Хитров, В. А. Бондаренко, Я. Гонзатко, И. Томандл Каскадный γ -распад компаунд-состояния ^{183}W . Возможности развития новых методов экспериментального изучения свойств тяжелого ядра ниже B_n	648
О. А. Бешпейко, И. Н. Вишневский, В. А. Желтоножский, И. Н. Каденко, В. М. Мазур, В. А. Плюйко, Н. В. Стрильчук Изомерные отношения и средние угловые моменты для продуктов фотоделения ^{238}U и ^{237}Np	658
О. А. Бешпейко, И. Н. Вишневский, В. А. Желтоножский, И. Н. Каденко, В. М. Мазур, В. А. Плюйко, Н. В. Стрильчук Исследование изомерных отношений в (γn) - и (γp) -реакциях на ядрах $^{120,122m, 8}\text{Sb}$ и $^{117m, 8}\text{In}$	663
Б. С. Ишханов, И. А. Лютиков, С. И. Павлов Особенности формирования траектории трансмутации изотопов Хе в интенсивном пучке тормозных γ -квантов	667
Б. С. Ишханов, И. А. Лютиков, С. И. Павлов Влияние интенсивности тормозного спектра γ -квантов на трансмутацию изотопа ^{165}Ho	670
О. В. Беспалова, И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, А. В. Изотова, Б. С. Ишханов, Е. А. Романовский, Т. И. Спасская, Т. П. Тимохина Протонные подоболочки четно-четных изотопов железа	675
О. В. Беспалова, И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, Т. А. Ермакова, Б. С. Ишханов, Е. А. Романовский, Т. И. Спасская, Т. П. Тимохина Нейтронные и протонные подоболочки ядер изотопов $^{112,124}\text{Sn}$	678
Ф. Ф. Валиев Особенности поля сверхсветового источника излучения, перемещающегося по отрезку прямой	682
К. А. Гривнев, С. Н. Фадеев Оптические потенциалы для рассеяния α -частиц с энергией $E_{\text{лаб}} = 1370$ МэВ	686
Ю. А. Честнов Механизм динамического деления ядер ^{238}U , ^{232}Th и ^{197}Au протонами с энергией 1 ГэВ	691
В. В. Самарин Описание нейтронных передач в реакциях слияния тяжелых ядер на основе нестационарного уравнения Шредингера	696

БАН
БИБЛИОТЕКА

ИЯИЯЕ - БАН
Библиотека по
физика 696

КНИГООБМЕН

УДК 539.142

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

© 2005 г. Ю. П. Гангрский¹, К. Гладнишки¹, В. И. Жеменик², Г. В. Мышинский¹, Ю. Э. Пенионжкевич¹, Е. А. Сокол¹

Проведены эксперименты по регистрации 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 $\epsilon_n = 0.49$ для одиночных нейтронов и $\epsilon_{2n} = 0.24$ для двойных. Время доставки осколков от мишени до детектора нейтронов около 0.5 с, в детекторе осколки находились около 2.5 с. В экспериментах наблюдается двунейтронная активность с отношением к одиночным запаздывающим нейтронам $\sim 6 \cdot 10^{-4}$.

Бета-задержанная двунейтронная эмиссия, предсказанная В.И. Гольданским в 1960 г. [1], была впервые наблюдена в нейтронно-избыточном изотопе ^{11}Li [2], а впоследствии в ядрах изотопов $^{30, 31, 32}\text{Na}$ [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. В скобках приведены экспериментально полученные вероятности и погрешности (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] и предсказывалась для нескольких других ядер [5–8].

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 использована 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 использована цилиндрическая реакционная камера объемом 6.4 см^3 , с торцов которой располагались две однослойные урановые мишени диаметром 18 мм. Расстояние меж-

ду мишенями составляло 12 мм. В качестве мишеней использована окись урана U_3O_8 , нанесенная на алюминиевую фольгу 100 мкм и $\varnothing 26$ мм. Плотность мишеней 3.3 и $3.4 \text{ мг} \cdot \text{см}^{-2}$. Ввод и вывод газа с аэрозолями осуществлялись 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 использован азот. В реакционной камере поддерживалось давление 2 атм. Газ вытекал из реакционной камеры по капилляру в атмосферу под действием избыточного давления. Применение 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 – позволило сохранить короткие времена эвакуации и транспортировки (0.5 с) осколков деления из реакционной камеры 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 $T = 640 \pm 10^\circ\text{C}$. Подробное описание генератора аэрозолей и режимов его работы приведено в [10].

Детектор нейтронов размещался на втором этаже, в комнате над микротроном. 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 волонистом фильтре. Выход фильтра был соединен с вытяжной спецвентиляцией. Это было сделано для того, чтобы радиоактивные инертные газы – Kr , Xe и дочерние продукты их распада – не

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.

² Институт ядерных исследований Национальной академии наук Украины, Киев.

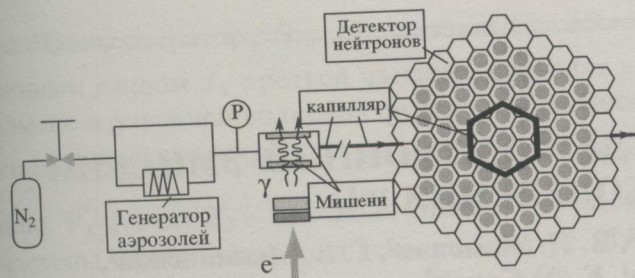


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

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, пятислойную сборку из 61-го пропорционального ^3He -счетчика, заполненного ^3He до давления 7 атм. 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-метровая часть капилляра, была свернута в спираль диаметром 15 см вокруг семи центральных счетчиков.

Испущенные осколками деления β -задержанные нейтроны с энергией до 1.5 МэВ в течение десятка микросекунд замедляются до тепловых скоростей и 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 счетчика 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.

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 с^{-1} . Эксперимент состоял из двух экспозиций по 8 ч каждая. На рис. 3 изображен суммарный спектр этих двух экспозиций.

Для уменьшения фона от нейтронов, связанных с работой ускорителя МТ-25, фотоделение урана проводилось при энергии электронов $E_e = 10.5 \text{ МэВ}$. 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 становится существенным влияние на результаты измерений 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

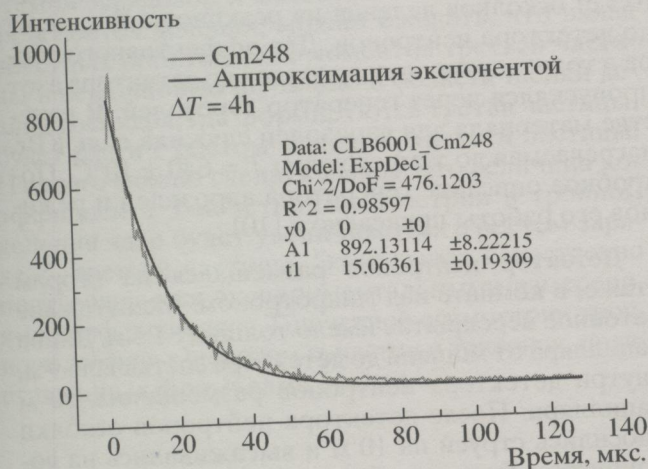


Рис. 2. Распределение по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации мгновенных нейтронов от спонтанного деления ^{248}Cm .

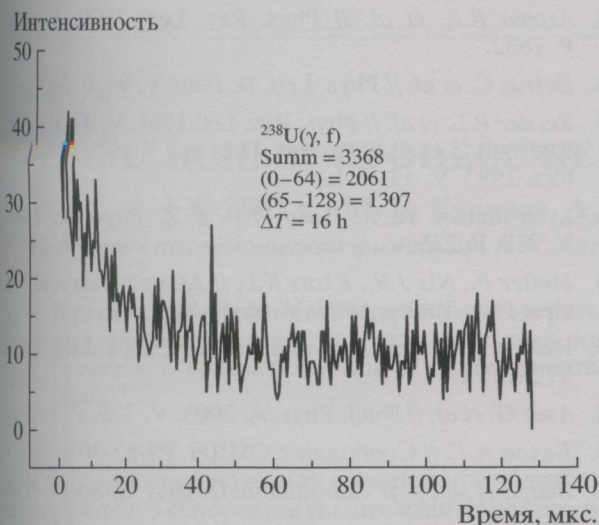


Рис. 3. Распределения по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации нейтронов при фотоделении ^{238}U .

этот источник фона также были учтены при анализе результатов.

Эффективность регистрации одиночных нейтронов детектором составила $\epsilon_n = 0.49$, а двукратных нейтронов $\epsilon_{2n} = 0.24$. Определялись эти величины с помощью калиброванного источника нейтронов изотопа ^{248}Cm , имеющего среднее число испущенных нейтронов на один акт спонтанного деления, равное $\nu = 3.134$. 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 регистра-

Таблица 1. Известные излучатели β -задержанных мультинейтронов

Нуклид	$T_{1/2}$, мс	хп	$P_{хп}$, %
^{11}Li	8.5	2п	4.1(4)
		3п	1.9(2)
^{14}Be	14.5	2п	0.80(8)
		3п	0.2(2)
^{15}B	10.4	2п	0.4(2)
^{17}B	5.1	2п	11(7)
		3п	3.5(7)
		4п	0.4(3)
^{30}Na	48	2п	1.17(16)
^{32}Na	13.5	2п	8(2)
^{34}Na	5.5	2п	~50
^{98}Rb	110	2п	0.38(6)
^{100}Rb	51	2п	2.7(7)

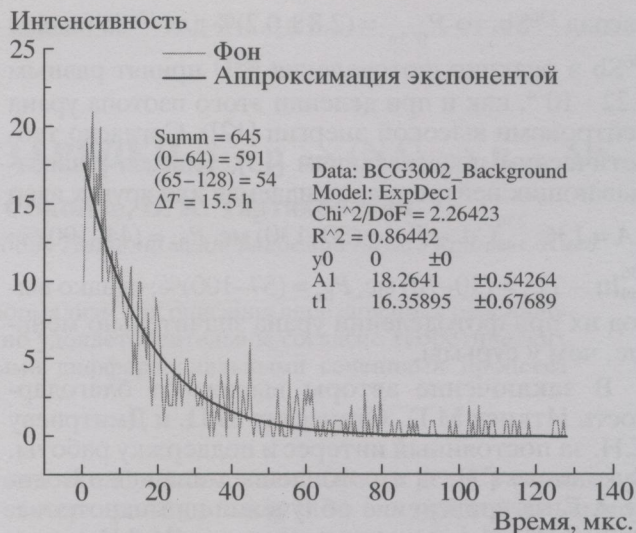


Рис. 4. Распределения по времени срабатываний нейтронных счетчиков при регистрации нейтронов от космического излучения.

ции 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 12 шт/ч. Это соответствует соотношению $2n/1n = 6 \cdot 10^{-4}$. Экспериментальный результат, таким образом, может быть сформулирован как наблюдение двунейтронной β -запаздывающей активности для осколков фотоделения. При этом эту активность вряд ли можно объяснить за счет ^{98}Rb и ^{100}Rb с учетом времен их жизни, относительного выхода 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 наблюдающуюся двух нейтронную активность на

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

Нуклид	$T_{1/2}$, с	$Q_{\beta-B_{2n}}$, 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	0.1	5.54	99	$2.7 \cdot 10^{-7}$
^{136}Sb	0.8	2.25	10.6	$3.3 \cdot 10^{-4}$
			0.28	
^{142}J	0.2	2.28	0.76	$5.3 \cdot 10^{-5}$
^{150}Cs	(0.15)	2.97	1.48	$1.3 \cdot 10^{-8}$

распад ^{136}Sb , то $P_{\beta^{-2n}} = (2.8 \pm 0.2)\%$ 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, ожидаемая для других ядер с $A = 136$; $^{136}_{48}\text{Cd} - T_{1/2} = (30-130)$ мс, $P_{\beta n} = (44-100)\%$; $^{136}_{49}\text{In} - T_{1/2} = (30-70)$ мс, $P_{\beta n} = (57-100)\%$; однако выход их при фотоделении урана значительно меньше, чем у сурьмы.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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; Rudstam G. et al. // Atomic. Data and Nuclear Data Tables. 1993. V. 53. P. 1.
5. Lyutostansky Yu.S., Panov I.V. // Z. Phys. A. 1983. V. 313. P. 235.
6. Moller P., Nix J.R., Kkatz K.L. // Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1997. V. 66. P. 131.
7. Wahl A. // Atomic Data and Nuclear Data Tables. 1988. V. 39. P. 1.
8. Audi G. et al. // Nucl. Phys. A. 2003. V. 729. P. 3.
9. Белов А.Г. // Сообщение ОИЯИ. P9-82-301.
10. Звара И. и др. // Сообщение ОИЯИ 12-80-48. Дубна, 1980.
11. Sokol E.A. et al. // Nucl. Instrum. and Methods in Phys. Res. 1997. V. 400. P. 96.
12. England TR., Rider B.F. // LA-UR-94-3106, ENDF-349.
13. Rfeiffer P., Kratz K.-L. // arXiv: nucl-ex/0106020 v1 22.06.2001.