

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

РЗ-87-117

**В.П.Алфименков, С.Б.Борзаков, Ю.Д.Мареев,
Л.Б.Пикельнер, А.С.Хрыкин, Э.И.Шарапов**

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

р-ВОЛНОВЫХ РЕЗОНАНСОВ $^{111,113}\text{Cd}$

1987

В последнее время возрос интерес к изучению свойств р-волновых нейтронных резонансов. Это связано с обнаружением резонансного усиления эффектов несохранения пространственной четности в р-резонансах ряда ядер ^{1/1/}. Исследования р-резонансов в области низких энергий нейтронов осложняются их малыми нейтронными ширинами. Однако эти исследования необходимы для изучения тех характеристик, которые не проявляются в s-резонансах. К числу таких свойств относится двухкомпонентный характер р-волновых резонансов со спином $J = (I + (1/2)) > 0; I > 0$ - спин ядра мишени. Нейтронную ширину такого резонанса можно представить в виде

$$\Gamma_n^P = \Gamma_n^P(j_n = \frac{1}{2}) + \Gamma_n^P(j_n = \frac{3}{2}). \quad /1/$$

Здесь $\vec{j}_n = \vec{l} + \vec{s}_n$ - полный момент нейтрона, складывающийся из орбитального и спинового моментов нейтрона. Аналогично в представлении спина канала $\vec{S} = \vec{I} + \vec{s}_n$ можно записать:

$$\Gamma_n^P = \Gamma_n^P(S = I + \frac{1}{2}) + \Gamma_n^P(S = I - \frac{1}{2}). \quad /2/$$

Экспериментальные данные о компонентах Γ_n^P получены из угловых распределений рассеянных нейтронов для нескольких резонансов ядер фтора и иттрия /см. обзор ^{1/2/}/. Эти измерения проводились в области энергий нейтронов до нескольких десятков кэВ. Для резонансов в электронвольтовой области энергий изучение р-волнового рассеяния практически невозможно, и данные о компонентах Γ_n^P могут быть получены из углового распределения γ -квантов после радиационного захвата нейтронов с $l = 1$. Таким методом были получены величины $\chi^2 = \Gamma_n^P(S = 1)/\Gamma_n^P$ для резонансов Nb ^{1/3/}. Этими данными ограничиваются практически все результаты о компонентах Γ_n^P .

Для определения матричных элементов слабого взаимодействия из эффектов несохранения четности в пропускании продольно поляризованных нейтронов требуется знание величины $\chi =$

$$= \sqrt{\Gamma_n^P(j_n = \frac{1}{2})/\Gamma_n^P}, \text{ а для анализа циркулярной поляризации и}$$

асимметрии вылета γ -квантов относительно спина нейтрона ^{1/4,5/} необходимо определить отношение парциальных ширин исследуемых переходов из s- и р-состояний $\frac{\Gamma_n^P}{\gamma_i \gamma_i'}$.

Выражение дифференциального сечения захвата s- и p-волновых нейтронов с испусканием γ -квантов определенной энергии для неполяризованных нейтронов можно записать в виде:

$$\sigma(\theta, E_n) \equiv \frac{d\sigma}{d\Omega} = a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 (\cos^2 \theta - \frac{1}{3}). \quad /3/$$

Здесь θ - угол между направлениями импульсов нейтрона и γ -кванта. Коэффициенты a_i определяются амплитудами захвата из s- и p-состояний, их связь с параметрами резонансов приведена, например, в [8].

Регистрируя γ -кванты под углами θ , $180^\circ - \theta$ и 90° , можно определить угловую асимметрию для p-волновой части сечения:

$$\epsilon^a(\theta) = \frac{2\sigma(90^\circ, E_p)}{\sigma(\theta, E_p) + \sigma(180^\circ - \theta, E_p)} = \frac{a_{op} - \frac{1}{3}a_2}{a_{op} + a_2(\cos^2 \theta - \frac{1}{3})}. \quad /4/$$

Здесь a_{op} - вклад p-волны в a_0 . Определив ϵ^a для некоторого θ и зная спины начального и конечного состояний, можно определить величину $\bar{\chi}^2$.

В настоящей работе представлены данные измерений выхода γ -квантов под углами 45° , 90° и 135° , образовавшихся в результате захвата нейтронов изотопами кадмия ^{111}Cd и ^{113}Cd , для которых были известны эффекты несохранения четности. Исследовалась область энергий нейтронов вблизи p-волновых резонансов: $E_p = 4,53$ и $6,95$ эВ для ^{111}Cd [1], $E_p = 7,0$ эВ - для ^{113}Cd [8].

Измерения проводились методом времени пролета на реакторе ИБР-30, работающем в бустерном режиме с шириной вспышки нейтронов 4 мкс. Образец находился на расстоянии 52 м от активной зоны реактора. Гамма-кванты регистрировались детектором NaY(Tl) размерами ϕ 200x200 мм. Вес образцов, обогащенных соответствующими изотопами кадмия до ~90%, составлял от 200 до 400 г, площадь перекрываемого ими нейтронного пучка ~40 см². В пучке постоянно находился кадмиевый фильтр, поглощающий нейтроны низких энергий.

Спектр γ -квантов анализировался амплитудным кодировщиком, работающим во временных окнах различной длительности. Накопление данных проводилось с помощью ЭВМ СМ-3. В памяти ЭВМ накапливалось 14 амплитудных спектров, соответствующих энергетическим группам нейтронов между 2 и 10 эВ. В районе p-резонанса было 5 временных окон шириной по 0,16 эВ. Параллельно накапливался временной спектр сигналов детектора, пропущенных через дискриминатор с порогом $E_\gamma \approx 8,7$ МэВ.

На рис.1 представлены высокоэнергетические участки амплитудных спектров гамма-квантов, обусловленных захватом нейтронов

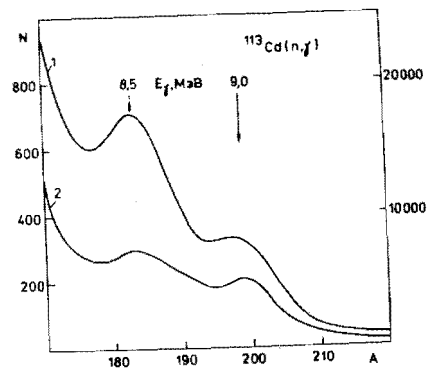


Рис. 1. Участки амплитудных спектров γ -квантов реакции $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ для нейтронов различных энергий. Кривая 1 - интервал $1 \text{ эВ} < E_n < 3,9 \text{ эВ}$, правая шкала. Кривая 2 - интервал $6,76 \text{ эВ} < E_n < 7,24 \text{ эВ}$ /область p-резонанса/, левая шкала. А - номер канала анализатора.

в области резонанса $7,0 \text{ эВ}$ ^{113}Cd /нижняя кривая/ и в широком интервале энергии нейтронов вне резонанса /верхняя кривая/.

На рис. 2 представлены время-пролетные спектры выхода γ -квантов в реакции $^{111}\text{Cd}(n, \gamma)$. Нижний рисунок соответствует измерениям с низким порогом дискриминации, а верхний - регистрации прямого перехода с $E_\gamma = 9,46$ МэВ. Эти данные указывают

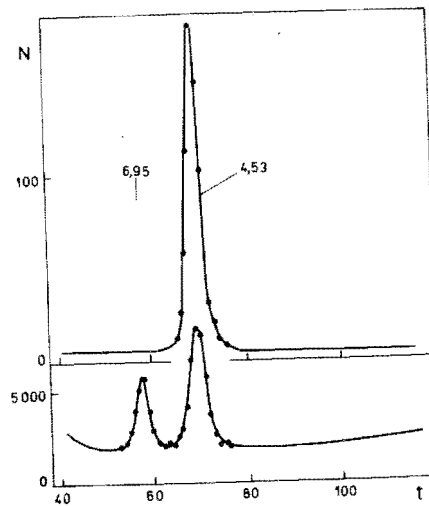


Рис. 2. Время-пролетные спектры выхода γ -квантов в реакции $^{111}\text{Cd}(n, \gamma)$. Нижний рисунок соответствует измерению с низким порогом регистрации γ -квантов, верхний - с порогом регистрации $E_\gamma = 9 \text{ МэВ}$.

на значение спина $J = 1$ для резонанса с $E_p = 4,53$ эВ и $Y = 0$ или 2 в случае $E_p = 6,95$ эВ, так как переход в основное состояние ^{112}Cd с $J^\pi = 0^+$ сильно подавлен. На рис. 3 показан ход сечения выхода γ -квантов с энергией $9,04$ МэВ в случае захвата нейтронов ^{113}Cd . Сплошная кривая соответствует полусумме измерений под углами 45° и 135° , пунктирная - под углом 90° . Наличие интенсивного γ -перехода в основное состояние в p-резонансе свидетельствует в пользу $J = 1$ /переход $1^- \rightarrow 0^+$ типа $E1$ /.

В результате обработки экспериментальных данных были получены парциальные ширины переходов в основное и первое возбужденное состояния и значения $\bar{\chi}^2$. Парциальные ширины получены

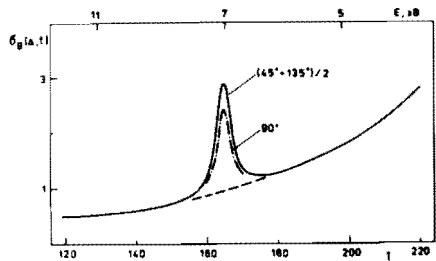


Рис. 3. Парциальные сечения реакции $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ в относительных единицах. Сплошная кривая - $\frac{1}{2} [\sigma(45^\circ) + \sigma(135^\circ)]$, пунктирная - $\sigma(90^\circ)$. Нижняя шкала - время пролета в каналах по $4 \mu\text{s}$. Верхняя шкала - энергия нейтронов в эВ.

с помощью нормировки на выход γ -квантов в результате радиационного захвата нейтронов Fe или Cl, имеющих близкие с кадмием значения E_γ и для которых известны парциальные ширины жестких переходов $\Gamma_{9,10}^P$. Измерения с этими образцами проводились в тех же условиях, что и с изотопами кадмия. Величины \bar{x}^2 получены из угловых распределений γ -квантов согласно формуле /4/,

которая в нашем случае ($I^\pi = \frac{1}{2}^+$; $J^\pi = 1^-$ и $F^\pi = 0^+$) сводится к выражению

$$\epsilon^a(45^\circ) = \frac{2 - \bar{x}^2}{1 + \frac{1}{2} \bar{x}^2} \quad /5/$$

Полученные результаты для изотопов Cd приведены в табл. 1. Сюда же вошли данные для ^{117}Sn , извлеченные из опубликованных ранее экспериментальных результатов /11/.

Таблица 1

$E_p, \text{эВ}$	J	$g \Gamma_n^P, 10^{-7} \text{эВ}$	$\Gamma^P, \text{мэВ}$	$E_{\gamma i}$	$\Gamma_{\gamma i}^P, \text{мэВ}$	$\frac{\Gamma_n^P(S=1)}{\Gamma_n^P}$
^{113}Cd 7,0	1	3,1(3)	160(20)	9,04	4,5(9)	0,84(7)
^{117}Sn 1,33	1	1,66(20)	180(18)	8,48	1,6(5)	0,18(8)
^{111}Cd 4,56	1	10,7(5)	163(10)	9,46	4,0(8)	0,33(7)
^{111}Cd 6,95	0	10,8(8)	143(13)	9,46		

Результаты, полученные в настоящей работе, могут быть использованы для анализа эффектов несохранения четности. Согласно

но формулам, приведенным в работе /7/, при выполнении условий $E_n \ll |E_s|$ и $E_n \ll E_p$ для γ -кванта с определенной энергией асимметрия вылета относительно спина налетающего нейтрона может быть записана в виде:

$$a_\gamma = \frac{2W}{E_p} \sqrt{\frac{\Gamma_{\gamma i}^P}{\Gamma_{\gamma i}^S}} A(I, Y, F) \quad /6/$$

Эта же формула, но не содержащая фактор A, справедлива для степени циркулярной поляризации P_γ . Для линии кадмия $E_{\gamma 0}$ фактор A, зависящий от спинов начального (Y) и конечного (F) состояний, равен 1. Асимметрия вылета γ -кванта с энергией 9,04 МэВ после захвата тепловых поляризованных нейтронов ^{113}Cd была измерена в работе Абова и др. /4/. Для этого же изотопа в работе /5/ было получено значение циркулярной поляризации γ -квантов с $E_\gamma \geq 8$ МэВ: $P_\gamma = -6,0 \pm 1,5 \cdot 10^{-4}$, в которую дают вклады линии 8,48 и 9,04 МэВ. Зная интенсивности этих линий для тепловых нейтронов /12/, можно определить циркулярную поляризацию для линии 8,48 МэВ, используя тот факт, что для прямого перехода $a_\gamma = P_\gamma$. Теперь можно извлечь матричные элементы слабого взаимодействия из результатов для отдельных линий, пользуясь формулой /6/. Полученные значения W вместе с используемыми значениями парциальных ширин приведены в табл. 2.

Таблица 2

$E_\gamma, \text{МэВ}$	$P_\gamma(a_\gamma), 10^{-4}$	$\Gamma_{\gamma i}^{s/12}, \text{мэВ}$	$\Gamma_{\gamma i}^P, \text{мэВ}$	$ W , \text{мэВ}$
9,04	-4,1(8)	0,28(2)	4,5(9)	0,4(1)
8,48	-7,0(2,5)	0,54(4)	1,6(5)	1,4(5)

Значительное различие матричных элементов, возможно, указывает на то, что эффекты несохранения четности для тепловых нейтронов определяются не только обнаруженным нами p-волновым резонансом с $E_p = 7,0$ эВ, но и каким-либо еще. Поэтому желательное уточнение существующих данных. Представляет интерес также изучение зависимости a_γ и P_γ от энергии нейтронов вблизи s-резонанса / $E_s = 0,178$ эВ/.

Для ^{111}Cd полученное значение спина резонанса 4,53 эВ / J = 1/ позволяет уточнить значение матричного элемента слабого взаимодействия.

В работе /1/ при оценке матричных элементов из экспериментов по пропусканию поляризованных нейтронов в области р-резонансов с неизвестным спином всегда предполагалось смешивание таким s-резонансом, который давал максимальное усиление эффекта. При этом получалась нижняя оценка матричного элемента. Найденное значение спина меняет s-резонанс, с которым предполагалось смешивание: $E_s = 27,5$ эВ, $2g\Gamma_n^o = 1,3 \pm 0,2$ мэВ, $J = 1/13/$. Тогда из выражения

$$P = \frac{\sigma_p^+ - \sigma_p^-}{\sigma_p^+ + \sigma_p^-} = \frac{2W}{E_p - E_s} \sqrt{\frac{\Gamma_n^s}{\Gamma_n^p}} \sqrt{\frac{\Gamma_n^p (j_n = \frac{1}{2})}{\Gamma_n^p}} \quad //7//$$

можно получить новую оценку $W = 2,6$ мэВ. Это также нижняя оценка, поскольку доля нейтронной ширины по каналу $j_n = 1/2$ /второй корень в //7// / неизвестна и принята равной 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alfimenkov V.P. et al. Nucl.Phys., 1983, Vol.A398, p.93.
2. Самосват Г.С. ЭЧАЯ, 1986, т.17, вып.4, с.713.
3. Chrien R.E. et al. Phys.Rev., 1973, Vol.C8, p.336.
4. Абов Ю.Г., Ефимов О.Н., Крупчицкий П.А. ЖЭТФ, 1973, т.65, с.1738.
5. Alberi G.L., Wilson R.W. Phys.Rev.Lett., 1972, Vol.29, p.518.
6. Sushkov O.P., Flambaum V.V. Nucl.Phys., 1958, Vol.A435, p.352.
7. Alfimenkov V.P. et al. Journal de Physique, 1984, Vol.45, suppl.3, p.C3-93.
8. Алфименков В.П. и др. Сообщение ОИЯИ 3-87-43, Дубна, 1987.
9. Auble R.L. Nuclear Data Sheets, 1977, Vol.20, No.3, p.327.
10. Stelts M.L., Chrien R.E. Nucl.Instr.and Meth., 1978, Vol.155, p.253.
11. Алфименков В.П. и др. Краткие сообщения ОИЯИ № 10-85, Дубна, 1985, с.19.
12. Mheemead A. et al. Nucl.Phys., 1984, Vol.A421, p.113.
13. Mughabghab S.F., Divadeenam M., Holden N.E. Neutron Cross Sections. Academic Press, New York, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 февраля 1987 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды VIII Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.
Д3,4,17-86-747	Труды У Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Алфименков В.П. и др.

P3-87-117

Некоторые характеристики р-волновых резонансов ^{111}Cd , ^{113}Cd

Измерены выходы γ -квантов прямых переходов вблизи р-волновых нейтронных резонансов ^{111}Cd и ^{113}Cd , для которых ранее были получены эффекты несохранения четности. Измерения проведены методом времени пролета на импульсном реакторе ИБР-30 с использованием детектора NaJ(Tl) для углов вылета γ -квантов 45° , 90° и 135° . Определены спины р-резонансов, парциальные ширины прямых переходов и вклады в нейтронную ширину состояний с определенным спином канала. Эти же характеристики приведены для ^{117}Sn . На основе полученных данных определены значения матричных элементов слабого взаимодействия.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Alfimenkov V.P. et al.

P3-87-117

Some Characteristics of p-Wave Resonances of ^{111}Cd , ^{113}Cd

The γ -ray intensities for direct transitions near p-wave parity violating ^{111}Cd and ^{113}Cd neutron resonances have been measured. Investigations were carried out by the time-of-flight method on the IBR-30 pulsed reactor with NaJ(Tl) detector for 45° , 90° and 135° emission angles of γ -rays. p-resonance spins, partial widths of direct transitions and neutron widths with a definite value of channel spin have been obtained. The same characteristics are shown for ^{117}Sn . Using these data the matrix element values of weak interaction have been determined.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987