

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P3-87-43**

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

**ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ НЕСОХРАНЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ  
В НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСАХ  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{141}\text{Pr}$**

**1987**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Со времени первого наблюдения эффекта несохранения пространственной четности /PNC/ во взаимодействии резонансных нейтронов с ядрами<sup>/1/</sup> достигнут определенный прогресс в изучении свойств этого интересного явления.

Экспериментальные исследования, выполненные нами<sup>/2/</sup>, подтвердили предположение авторов работы<sup>/3/</sup> об усилении эффектов PNC вблизи р-волновых резонансов. Сопоставление результатов, полученных в тепловой<sup>/4,5/</sup> и резонансной<sup>/2/</sup> областях энергии, свидетельствует о справедливости энергетической зависимости эффектов PNC, полученной в работах<sup>/3,6/</sup>. Результаты экспериментальных исследований PNC качественно согласуются с представлением о том, что наблюдаемые в них эффекты определяются свойствами смешиваемых слабым взаимодействием уровней компаунд-ядер с противоположными четностями. Вместе с тем пока нет достаточно ясного и последовательного понимания механизма такого смешивания. Этот вопрос рассматривался в ряде работ<sup>/7-9/</sup>, авторы которых обсуждают различные механизмы: компаунд-ядерный, валентный, через гигантский резонанс. Решение вопроса о том, какой именно механизм реализуется в том или ином случае, важно не только с точки зрения понимания природы явления PNC, но и для более глубокого понимания структуры и свойств компаунд-состояний. Однако экспериментальная информация, которая накоплена на сегодняшний день, не позволяет однозначно решить этот вопрос в пользу какого-либо механизма смешивания. Поэтому в ЛНФ ОИЯИ было продолжено экспериментальное изучение PNC во взаимодействии резонансных нейтронов с ядрами. Для исследований были выбраны ядра  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$  и  $^{141}\text{Pr}$ . Мотивы, побудившие нас выбрать эти образцы, заключались в следующем.

Для  $^{93}\text{Nb}$  было известно<sup>/10/</sup>, что в доступной для нашего спектрометра области энергий  $E < 100$  эВ/ имеются два р-резонанса, которые по спину удовлетворяют условию смешивания с s-резонансами ( $J = I \pm 1/2$ ).

Для ядра  $^{113}\text{Cd}$  ранее были выполнены исследования асимметрии испускания  $\gamma$ -квантов в реакции  $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ <sup>/11/</sup>, в которых был найден коэффициент асимметрии  $a_\gamma = -/4,1 \pm 0,3/ \cdot 10^{-4}$ . Поскольку этот эффект обусловлен  $\gamma$ -распадом состояния компаунд-ядра  $^{114}\text{Cd}$ , являющегося смесью известного s-резонанса  $E_0 = 0,178$  эВ/ и какого-то р-резонанса с таким же спином, но противоположной четности, то представляло интерес обнаружение этого р-резонанса и измерение вблизи него эффекта PNC в полном сечении. Нами выполнен предварительный цикл измерения продукта

$^{113}\text{Cd}$ , в результате чего был обнаружен слабый резонанс при  $E_0 = 7$  эВ, который вследствие малой нейтронной ширины может являться  $p$ -резонансом. Поскольку для  $s$ -резонанса при  $E_0 = 0,178$  эВ  $J^\pi = 1^+$ , то с ним может смешиваться  $p$ -резонанс только с  $J^\pi = 1^-$ . Для определения спина резонанса  $p = 7$  эВ нами выполнены специальные измерения, которые показали, что он равен  $1^-$ .

Для  $^{141}\text{Pr}$  в ходе предварительных измерений пропускания также обнаружен слабый резонанс при  $E_0 = 4,9$  эВ, малая нейтронная ширина которого позволяла надеяться, что он является  $p$ -резонансом.

## 2. МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ

Метод исследований состоит в изучении зависимости пропускания образца от спиральности поляризованных резонансных нейтронов. Как известно, пропускание образца определяется полным сечением. В рамках теоретической модели <sup>3/</sup> зависимость полного сечения от спиральности нейтронов  $h = \pm 1$  связана с полным резонансным сечением  $\sigma_r^h$ , которое вблизи  $p$ -резонанса описывается выражением

$$\sigma_r^h = \sigma_p (1 + h \cdot \mathcal{P}), \quad /1/$$

где  $\sigma_p$  - брейт-вигнеровское сечение в  $p$ -резонансе, а  $\mathcal{P}$  - параметр асимметрии полного резонансного сечения.

В экспериментах методом времени пролета измерены временные спектры нейтронов  $N^h(t)$ , прошедших через образец при двух различных значениях спиральности  $h$ . Эти спектры позволяли найти для каждого из исследуемых образцов эффект пропускания  $\epsilon$ , определяемый выражением

$$\epsilon = \frac{N^+ - N^-}{f_n (N^+ + N^-)}, \quad /2/$$

где  $N^+$  и  $N^-$  - спектры нейтронов, прошедших через образец соответственно при  $h = +1$  и  $-1$ , а  $f_n$  - нейтронная поляризация.

В дальнейшем эффект пропускания  $\epsilon$  служил основой для определения параметров  $\mathcal{P}$  исследованных образцов вблизи  $p$ -резонансов. Эксперименты проводились с импульсным источником нейтронов - реактором ИБР-30, работающим в бустерном режиме с линейным ускорителем ЛУЭ-40 <sup>12/</sup>. Полный выход нейтронов реактора составлял  $\sim 3 \cdot 4 \cdot 10^{14}$  н/с, длительность импульса нейтронов  $\sim 4$  мкс и частота повторения импульсов  $\sim 100$  1/с. Поляризованные нейтроны получались методом пропускания через динамически поляризованную протонную мишень. Нейтроны, прошедшие через эту мишень, имели поляризацию  $f_n$ , равную  $55 \pm 5\%$ , и направление вектора поляризации, перпендикулярное к направлению пучка. Для получения пучка нейтронов с заданным значением спиральности  $+1$  либо  $-1/$

служила система реверса, которая поворачивала вектор поляризации нейтронов на  $90^\circ$  в направлении вдоль либо против направления импульса нейтронов. Полученный таким образом продольно-поляризованный пучок нейтронов падал на исследуемый образец. Нейтроны, прошедшие через образец, регистрировались детектором, расположенным на расстоянии  $\sim 60$  м от активной зоны реактора. Для контроля интенсивности и величины поляризации пучка нейтронов использовались три мониторинговых детектора, один из которых располагался за, а два других - перед протонной мишенью. Величина поляризации пучка нейтронов определялась по изменению прозрачности протонной мишени при ее поляризации.

## 3. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

При проведении эксперимента использовался измерительный модуль /ИМ/ на базе малой ЭВМ СМ-3 <sup>13/</sup>, выполнявший в автоматическом режиме накопление временных спектров, контроль интенсивности и величины поляризации пучка нейтронов, а также реверс спиральности нейтронов. В процессе проведения эксперимента производилось периодическое чередование измерений при противоположных значениях спиральности нейтронов. Продолжительность одного измерения составляла  $\sim 40$  с. После накопления одной пары спектров в течение 80 с происходило накопление следующей пары, а спектры предыдущей вместе с соответствующими показателями мониторов подвергались быстрой статистической обработке. Обработка проводилась для исключения возможной асимметрии пары спектров. Если аппаратная асимметрия спектров была статистически незначимой, то они добавлялись в основную память ИМ. Результатом проведенного эксперимента с данным образцом была пара временных спектров  $N^+$  и  $N^-$ , накопленных в основной памяти ИМ. Время проведения эксперимента для каждого из исследованных образцов составляло  $\sim 200 \div 300$  ч. Физические характеристики образцов приведены в табл.1

Таблица 1  
Физические характеристики образцов

Образец	$n$ [ $10^{23}$ яд/см <sup>2</sup> ]	Площадь см <sup>2</sup>	Изотопный состав в %
$^{93}\text{Nb}$	1,8	30	100 естеств.
$^{113}\text{Cd}$	1,3	14	95 обогащен.
$^{141}\text{Pr}$	1,5	30	100 естеств.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные для каждого образца спектры  $N^+$  и  $N^-$  служили исходными данными для обработки, которая заключалась в определении параметров  $p$ -волновых резонансов и величины асимметрии для этих резонансов. На рис.1 и 2 приведены участки аппаратурных спектров нейтронов для образцов  $^{113}\text{Cd}$  и  $^{141}\text{Pr}$  соответственно. Параметры резонанса вычислялись путем подгонки методом наименьших квадратов теоретического пропускания  $T/E$  к экспериментальной кривой пропускания в области данного резонанса. Пропускание образца описывалось выражением

$$T(E) = \frac{\int_0^{\infty} N_0(E') \cdot R(E, E') e^{-n\Psi(E')} dE'}{\int_0^{\infty} N_0(E') \cdot R(E, E') dE'} \quad /3/$$

где  $N_0(E')$  - аппаратурный спектр нейтронов источника,  $R(E, E')$  - функция разрешения спектрометра, определяемая формой нейтронного импульса источника и шириной временного канала,  $\Psi(E')$  - полное резонансное сечение взаимодействия нейтронов с ядрами с учетом теплового движения атомов образца,  $n$  - число ядер образца на квадратный сантиметр.

Найденные таким образом параметры  $p$ -волновых резонансов приведены в табл.2. В дальнейшем они использовались для определения величин  $\mathcal{P}$ . Процедура получения  $\mathcal{P}$  для конкретного резонанса состояла в следующем.

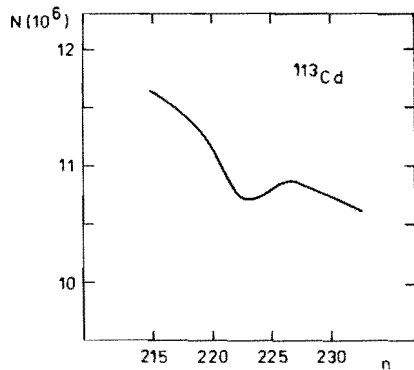


Рис.2. Аппаратурный спектр нейтронов, прошедших образец  $^{141}\text{Pr}$ . Время измерения 117 ч.  $N$  - число отсчетов детектора,  $n$  - номер временного канала с шириной 4 мкс.

Рис.1. Аппаратурный спектр нейтронов, прошедших образец  $^{113}\text{Cd}$ . Время измерения 160 ч.  $N$  - число отсчетов детектора в канале,  $n$  - номер временного канала с шириной 4 мкс.

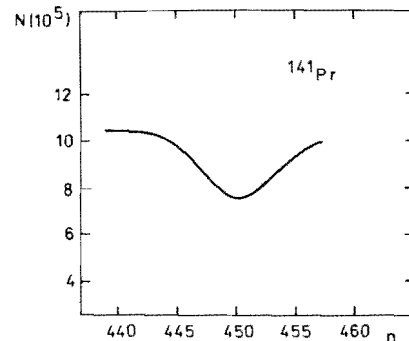


Таблица 2  
Результаты исследования  $p$ -резонансов

Ядро-мишень	$E_p$ эВ	$\Gamma_p$ эВ	$g\Gamma_p^n(E_p)$ $10^{-7}$ эВ	$E_s$ эВ	$g\Gamma_s^n(E_p)$ мэВ	$\mathcal{P}(E_p)$ $\times 10^{-3}$	$\langle s   H_W   p \rangle$ $10^{-3}$ эВ
$^{93}\text{Nb}$	35,8	$0,195 \pm 0,030$	$580 \pm 85$	193	8,0	$-0,9 \pm 1,2$	$6,0 \pm 8,0$
	42,2	$0,180 \pm 0,040$	$460 \pm 70$	-105	216	$0,9 \pm 1,7$	$1,0 \pm 1,8$
$^{113}\text{Cd}$	7,0	$0,170 \pm 0,025$	$3,5 \pm 0,5$	0,178	3,1	$3,7 \pm 5,2$	$0,1 \pm 0,2$
$^{141}\text{Pr}$	4,9	$0,080 \pm 0,020$	$7,6 \pm 1,0$	-	-	$2,5 \pm 1,7$	-

На основе измеренных в эксперименте спектров  $N^+$  и  $N^-$  определялось в соответствии с выражением /2/ энергетическое распределение  $\epsilon$  в области данного резонанса. Эффект пропускания описывался теоретическим выражением  $\epsilon_T$ :

$$\epsilon_T = -n\mathcal{P} \frac{\int_0^{\infty} N_0(E') \cdot R(E, E') e^{-n\Psi(E')} \Psi(E') dE'}{\int_0^{\infty} N_0(E') \cdot R(E, E') e^{-n\Psi(E')} dE'} \quad /4/$$

В дальнейшем значение  $\mathcal{P}$  получалось при подгонке методом наименьших квадратов функции /4/ к экспериментальным данным для  $\epsilon$ . Полученные в результате значения  $\mathcal{P}$  приведены в табл.2. Очевидно, что величины  $\mathcal{P}$  для резонансов  $^{93}\text{Nb}$  и  $^{113}\text{Cd}$  следует рассматривать как верхние оценки соответствующих параметров асимметрии.

С учетом того, что спины указанных резонансов удовлетворяют условию смешивания, отсутствие наблюдаемого эффекта свидетельствует о малой величине  $\mathcal{P}$ . Что касается резонанса празеодима, то для него спин неизвестен, а следовательно,  $\mathcal{P}$  может равняться нулю в случае  $J = I \pm 3/2$ .

Если использовать выражение для  $\mathcal{P}$  из работы /7/:

$$\mathcal{P} = 2 \frac{\langle s | H_W | p \rangle}{E_p - E_s} \sqrt{\frac{\Gamma_s^n}{\Gamma_p^n} \cdot \frac{\Gamma_{p\frac{1}{2}}^n}{\Gamma_p^n}} \quad /5/$$

то можно получить значение матричного элемента  $\langle s | H_W | p \rangle$ , характеризующего смешивание  $s$ - и  $p$ -состояний. В выражении /5/  $\Gamma_s^n$  и  $\Gamma_p^n$  - нейтронные ширины соответствующих резонансов,  $E_s$  и  $E_p$  - их энергии, а  $\Gamma_{p\frac{1}{2}}^n$  - доля нейтронной ширины  $p$ -резонанса для нейтронов с полным моментом  $j = 1/2$ .

Полагая  $\Gamma_{p\frac{1}{2}}^n / \Gamma_p^n$  равным единице и используя известные значения остальных параметров, мы получили значения матричных элементов, приведенные в табл.2. Для празеодима такая оценка не проведена из-за неопределенности спина  $P$ -резонанса.

Полученные результаты, к сожалению, дают только ориентировочные оценки матричных элементов, и требуются дополнительные исследования для получения однозначных характеристик  $P$ -нечетных эффектов в реакциях с нейтронами на этих ядрах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алфименков В.П. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1981, т.34, вып.5, с.308.
2. Alfimenkov V.P. et al. - Nucl.Phys., 1983, A398, p.93.
3. Сушков О.П., Фламбаум В.В. - Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, с.377.
4. Kolomensky E.A. et al. - Phys.Lett., 1981, 107B, p.272.
5. Весна В.А. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1982, т.35, вып.8, с.351.
6. Vupakov V.E., Gudkov V.P. - Z.Phys., 1981, 303, p.285.
7. Сушков О.П., Фламбаум В.В. - УФН, 1982, т.136, с.2.
8. Зарецкий Д.Ф., Сироткин В.К. - ЯФ, 1985, т.42, с.885.
9. Кадменский С.Г., Маркушев В.П., Фурман В.И. - ЯФ, 1983, т.37, с.581.
10. Mughabghab S.F. et al. - Neutron Cross Sections, 1981, v.1, Part A.
11. Абов Ю.Г. и др. - ЖЭТФ, 1973, т.65, с.1738.
12. Бунин Б.Н. и др. ОИЯИ, 13-6213, Дубна, 1972.
13. Бойа Я. и др. Сообщение ОИЯИ P13-87-17, Дубна, 1987.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
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 глжельных 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 III 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.

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

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 января 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

Алфименков В.П. и др.  
Исследования явления несохранения  
пространственной четности в нейтронных  
резонансах  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{141}\text{Pr}$

P3-87-43

Описаны экспериментальные исследования явления несохранения пространственной четности в р-волновых нейтронных резонансах  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{141}\text{Pr}$ . Измерения проводились на пучке поляризованных резонансных нейтронов реактора ИБР-30. Приводятся экспериментальные оценки параметров асимметрии полного сечения в области резонансов и матричных элементов смешивания S- и р-уровней компаунд-ядер.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Alfimenkov V.P. et al.  
The Study of Parity Violation in Neutron  
Resonances

P3-87-43

Experimental study of parity violation in p-wave neutron resonances of  $^{93}\text{Nb}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ ,  $^{141}\text{Pr}$  is described. The measurements were performed on the beam of polarized neutrons from the IBR-30 pulsed reactor (Dubna). The paper contains experimental estimates for the asymmetry parameters of the total cross section in the resonance region and for the matrix elements of the mixing s- and p-levels of compound nuclei.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987