

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

A.537

P3-88-318

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

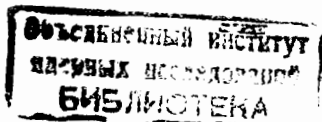
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
НАРУШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ  
В НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСАХ  $^{232}\text{Th}$**

**1988**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ было продолжено экспериментальное исследование явления несохранения пространственной четности, наблюдаемого в пропускании продольно-поляризованных резонансных нейтронов через ядерные мишени. Результаты предыдущих исследований можно найти в <sup>1,2/</sup>. Теоретический анализ явления несохранения пространственной четности (PNC) во взаимодействии нейтронов с тяжелыми ядрами проводился в ряде работ <sup>3-6/</sup>. Это явление возникает как результат смешивания слабым взаимодействием нуклонов s- и p-резонансов ядра, имеющих одинаковые спины. Такое смешивание резонансов с противоположными четностями и приводит к наблюдаемым на опыте эффектам, в частности, асимметрии пропускания нейтронов с положительной и отрицательной спиральностями через ядерную мишень. Величины этих эффектов определяются свойствами слабого взаимодействия нуклонов, а также структурой и свойствами возбужденных состояний компаунд-ядра. К сожалению, в настоящее время сложность этой структуры не позволяет извлечь из таких экспериментов количественную информацию о слабом взаимодействии нуклонов. Тем не менее информация, получаемая в таких исследованиях, имеет большое значение для более глубокого понимания физики ядра. Это в первую очередь относится к матричным элементам смешивания уровней с противоположной четностью, а также к характеристикам p-резонансов. В настоящей работе мы сообщаем результаты экспериментального исследования эффектов PNC в пропускании продольно-поляризованных резонансных нейтронов через образец <sup>232</sup>Th. Выбор образца обусловлен наличием в <sup>232</sup>Th p-резонансов с энергиями  $E_p = 8,33$  эВ и  $E_p = 13,13$  эВ <sup>7/</sup>. Спины этих резонансов не были известны, однако если предположить, что какой-нибудь из них имеет подходящий для смешивания с s-резонансами спин, то высокая плотность уровней компаунд-ядра <sup>232</sup>Th должна приводить к существенному усилению эффекта <sup>3,5/</sup>.

Ранее зависимость сечения от спиральности нейтронов не измерялась для резонансов тория, а эксперимент <sup>8/</sup> в тепловой точке дал только верхний предел для величины асимметрии полного сечения  $\mathcal{P}(E_{th}) < 2,4 \cdot 10^{-6}$ .



## 2. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эффект PNC в пропускании продольно-поляризованных нейтронов определяется величиной  $\epsilon$ , равной

$$\epsilon = \frac{N^+ - N^-}{f_n [N^+ + N^-]}, \quad (1)$$

где  $N^+$  и  $N^-$  — интенсивности нейтронов положительной и отрицательной спиральностей, прошедших через образец, а  $f_n$  — поляризация нейтронов. Чтобы получить энергетическую зависимость эффекта  $\epsilon(E)$ , необходимо измерить по времени пролета спектры нейтронов  $N^+(E)$  и  $N^-(E)$ .

Измерения проводились на пучке поляризованных резонансных нейтронов. Установка для поляризации нейтронов и реверса их спиральности описана в работе<sup>1/</sup>. Источником нейтронов служил реактор ИБР-30, работавший в режиме бустера с линейным ускорителем электронов ЛУЭ-40. Средняя мощность реактора составляла 9,5 кВт при длительности нейтронной вспышки около 4 мкс и частоте повторения 100 1/с.

Исследуемый образец располагался в соленоиде с продольным магнитным полем напряженностью 200 Э. Измерение энергетических спектров нейтронов, прошедших через образец, осуществлялось методом времени пролета. Нейтроны регистрировались батареей из гелиевых счетчиков, которая размещалась на расстоянии 58 м от реактора. Измерение проводилось с помощью автоматизированной системы на базе малой ЭВМ СМ-3<sup>9/</sup>, которая накапливала временные спектры, контролировала интенсивность и поляризацию пучка нейтронов, а также управляла реверсом спиральности. Изменение спиральности пучка нейтронов осуществлялось через каждые 40 с. Спектры нейтронов противоположных спиральностей, измеренные за это время, суммировались с соответствующими спектрами, накопленными в двух областях памяти автоматизированной системы. Периодически (обычно через каждые 3 часа) пара накопленных спектров записывалась на магнитный диск. Время проведения эксперимента составляло около 300 часов.

Образец, с которым выполнялись исследования, представлял собой цилиндр из металлического тория диаметром 70 мм и толщиной  $1,45 \cdot 10^{23}$  ядер/см<sup>2</sup>.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного эксперимента были получены спектры нейтронов  $N^+(E)$  и  $N^-(E)$  соответствующей спиральности. Участок ап-

паратурного спектра, содержащий изучаемые резонансы, приведен на рис. 1. На основании выражения (1) получены для каждого из резонансов эффекты PNC. Эти результаты приведены на рис. 2. Обычно для количественной характеристики эффекта в р-резонансе используется величина

$$\mathcal{P} = \frac{\sigma_p^+ - \sigma_p^-}{\sigma_p^+ + \sigma_p^-}, \quad (2)$$

где  $\sigma_p^+$  и  $\sigma_p^-$  — полные резонансные сечения взаимодействия нейтронов с ядрами при положительной и отрицательной спиральностях. Величина  $\mathcal{P}$  в соответствии с<sup>6/</sup> определяется выражением

$$\mathcal{P} = -2v(\Gamma_s^n \Gamma_p^n)^{1/2} \frac{(E - E_s) \Gamma_p + (E - E_p) \Gamma_s}{\Gamma_s^n \Gamma_s [p] + \Gamma_p^n \Gamma_p [s] + 4(kR)^2 [s][p]}, \quad (3)$$

где  $v = \langle s | H_w | p \rangle$  — матричный элемент смешивания слабым взаимодействием s- и p-резонансов ядра,  $\Gamma_{s,p}^n$ ,  $\Gamma_{s,p}$  — нейтронные и полные ши-

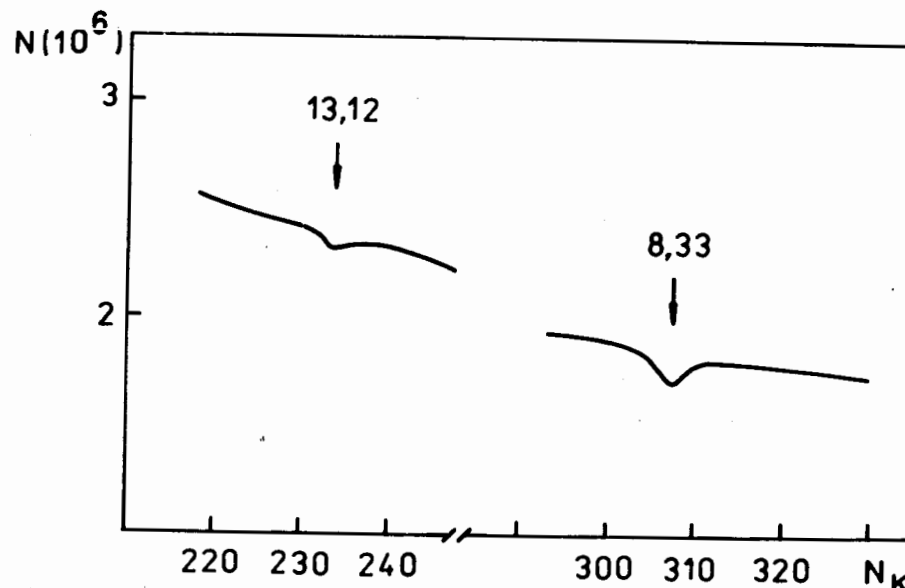


Рис. 1. Участок спектра по времени пролета. Цифрами сверху обозначены энергии р-резонансов в эВ,  $N_k$  — номер временного канала,  $N$  — число отсчетов детектора.

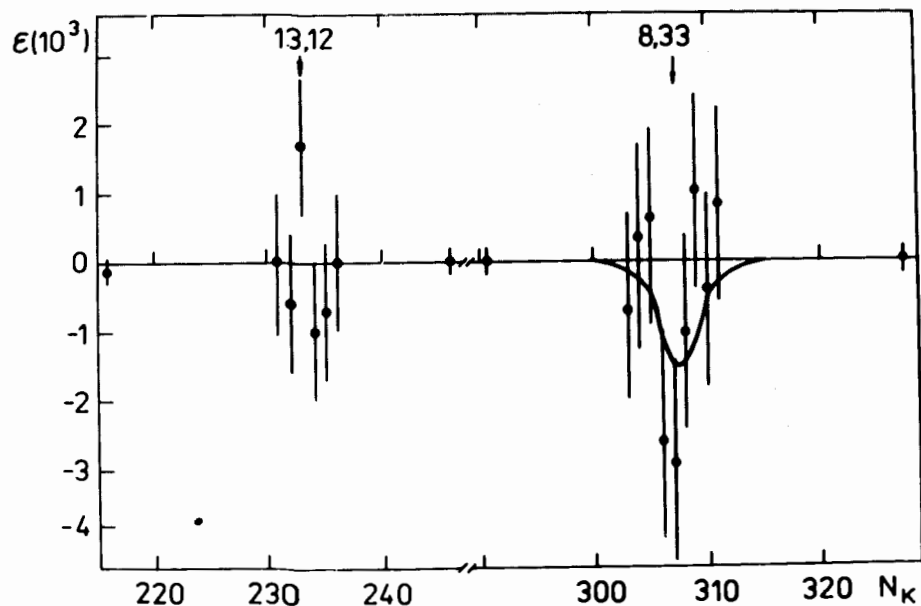


Рис. 2. Эффекты пропускания р-резонансов  $^{232}\text{Th}$ .

рины этих уровней,  $E_s$  и  $E_p$  — их энергии,  $[s, p] = (\bar{E} - E_{s,p})^2 + \frac{1}{4} \Gamma_{s,p}^2$ ,  $k$  — волновой вектор нейтрона,  $R$  — радиус ядра. Вблизи р-резонанса измеренный эффект  $\epsilon(E)$  и величина  $\mathcal{P}$  связаны соотношением

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

где  $N_0(E')$  — аппаратный спектр нейтронов источника,  $R(E, E')$  — функция разрешения источника, определяемая формой нейтронного импульса;  $\Psi(E')$  — полное резонансное сечение взаимодействия нейтронов с ядрами с учетом теплового движения атомов образца;  $n$  — число ядер на квадратный сантиметр образца.

Прежде чем определить значения  $\mathcal{P}$  для каждого из р-резонансов, мы нашли величины их параметров  $g\Gamma_p^A$ ,  $\Gamma_p$  и  $E_p$ . Они определялись путем подгонки методом наименьших квадратов теоретической кривой пропускания образца  $T(E)$  к экспериментальной. Пропускание образца описывалось выражением

$$T(E) = \frac{\int_0^{\infty} N_0(E') R(E, E') e^{-n\Psi(E')} dE'}{\int_0^{\infty} N_0(E') R(E, E') dE'} \quad (5)$$

Полученные таким образом параметры приведены в таблице. Они хорошо согласуются с приведенными в [7]. В дальнейшем они использовались при расчете величин  $\mathcal{P}$  для каждого из исследуемых резонансов.

Таблица

$E_p, \text{эВ}$	$\Gamma_p, 10^{-3} \text{эВ}$	$g\Gamma_p^A, 10^{-7} \text{эВ}$	$\mathcal{P}(E_p)$	$10^{-2}  \langle s   H_w   p \rangle $ $10^{-4} \text{эВ}$
$8,33 \pm 0,03$	$32 \pm 3$	$2,68 \pm 0,15$	$1,79 \pm 0,92$	$6,2 \pm 3,1$
$13,12 \pm 0,04$	$28 \pm 7$	$1,17 \pm 0,14$	$0,3 \pm 2,1$	—

Вычисление величины  $\mathcal{P}$  осуществлялось методом наименьших квадратов с помощью выражения (4). Результаты подгонки даны в таблице.

Из таблицы видно, что для р-резонанса  $E_p = 8,33 \text{эВ}$  в пределах достигнутой точности можно говорить о наличии эффекта PNC. Во всяком случае, полученный результат свидетельствует, что эффект не равен нулю на уровне 98% достоверности. Отсюда следует, что спин этого резонанса  $J = 1/2$  на том же уровне достоверности. Что касается р-резонанса  $E_p = 13,12 \text{эВ}$ , то эффект в нем не обнаружен. Это может быть связано с тем, что величина эффекта в этом резонансе находится за пределами точности нашего эксперимента либо спин резонанса  $J = 3/2$ . Если воспользоваться выражением (3), то для резонанса  $E_p = 8,33 \text{эВ}$  можно рассчитать значение матричного элемента  $v = \langle s | H_w | p \rangle$  смешивания слабым взаимодействием этого резонанса с s-резонансом. Поскольку для данного р-резонанса есть несколько близких к нему s-резонансов, которые могут рассматриваться в качестве кандидатов для смешивания, мы выбрали отрицательный резонанс с энергией  $E_s = -9,4 \text{эВ}$  [7], который имеет наибольшее значение параметра  $(\Gamma_s^A(E_p)) / (E_s - E_p)^2$ . Полученная величина матричного элемента приведена в таблице. Результаты настоящей работы позволяют оценить величину эффекта в пропускании продольно-поляризованных нейтронов при тепловой энергии  $E_{th}$ . Формула, связывающая эффекты при резонансной

и тепловой энергии, следует из энергетической зависимости эффекта (3) и имеет вид

$$\mathcal{P}(E_{th}) = \mathcal{P}(E_p) \frac{E_p^2 - E_s^2}{E_s^2} \left( \frac{\Gamma_p}{2\Gamma_p} \right)^2 \frac{\sigma_0}{\sigma_{tot}(E_{th})}, \quad (6)$$

где  $\sigma_0 = 4\pi\lambda^2(E_p) \frac{g\Gamma_p^n(E_p)}{\Gamma_p}$ , а  $\sigma_{tot}(E_{th})$  — полное сечение взаимодействия нейтронов с ядрами  $^{232}\text{Th}$  при тепловой энергии.

Величина эффекта  $\mathcal{P}(E_{th})$ , рассчитанная по формуле (6) как для отрицательного, так и для положительных р-резонансов меньше  $10^{-8}$ , что значительно меньше верхней оценки, полученной в работе [8].

В заключение следует отметить, что экспериментальные исследования ПНС являются важным инструментом в изучении свойств высоковозбужденных состояний компаунд-ядер, которые зачастую невозможно изучать другими методами. Поэтому нам представляется, что эти исследования следует продолжать, расширяя как число измеренных эффектов для одного и того же ядра, так и круг исследованных ядер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alfimenkov V.P. et al. — Nucl. Phys., 1983, A398, p.93.
2. Алфименков В.П. и др. ОИЯИ, P3-87-43, Дубна, 1987.
3. Сушков О.П., Фламбаум В.В. — УФН, 1982, 136, с.2.
4. Любов Г.А. Препринт ИТЭФ №95, М, 1982.
5. Вупаков В.Е., Гудков В.Р. — Nucl. Phys., A401, 1983, p.93.
6. Зарецкий Д.Ф., Сироткин В.К. — ЯФ, 1985, т.42, с.885.
7. Mughabghab S.F. Neutron Cross Sections, Academic Press, 1984, v.1, Part B.
8. Аюбов Ю.Г. и др. — ЯФ, 1984, т.40, вып.6(12), с.1585.
9. Бойа Я. и др. ОИЯИ, P13-87-17, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 мая 1988 года.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

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.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

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

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.

P3-88-318

Экспериментальное исследование нарушения пространственной четности в нейтронных резонансах  $^{232}\text{Th}$

Приведены результаты экспериментального исследования нарушения пространственной четности в пропускании продольно-поляризованных нейтронов через образец  $^{232}\text{Th}$  в районе его р-волновых нейтронных резонансов с энергиями  $E_p = 8,3$  эВ и  $E_p = 13,1$  эВ. Для резонанса  $E_p = 8,3$  эВ получена величина асимметрии полного сечения  $\mathcal{P} = (1,8 \pm 0,9) \cdot 10^{-2}$ . Величина асимметрии для резонанса  $E_p = 13,1$  эВ не выходит за пределы одной статистической ошибки. Полученные результаты анализируются в рамках модели смешивания слабым взаимодействием уровней компаунд-ядра и сравниваются с результатом, полученным при тепловой энергии.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Alfimenkov V.P. et al.

P3-88-318

Experimental Study of Space Parity Violation of  $^{232}\text{Th}$  Neutron Resonances

This paper presents the results of the measurement of parity violation in the transmission of longitudinally polarized neutrons through a  $^{232}\text{Th}$  sample in the vicinity of  $^{232}\text{Th}$  p-wave resonances at  $E_p = 8.3$  eV and  $E_p = 13.1$  eV. For the resonance at  $E_p = 8.3$  eV a value of  $\mathcal{P} = (1.8 \pm 0.9) \cdot 10^{-2}$  is obtained for the cross section asymmetry. For the resonance at  $E_p = 13.1$  eV this value is within the statistical error only. The results are analyzed in the frame of the model of weak compound level mixing and compared with the data obtained from measurements in the thermal energy range.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988