

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

A 537

P3-88-319

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

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО НАРУШЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ  
В ПРОПУСКЕНИИ ПРОДОЛЬНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ  
РЕЗОНАНСНЫХ НЕЙТРОНОВ  
ЧЕРЕЗ ОБРАЗЕЦ  $^{239}\text{Pu}$

1988

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Как сообщалось в работе<sup>/1/</sup>, в экспериментах, проведенных в ИАЭ им. И.В.Курчатова, удалось наблюдать явление нарушения пространственной четности в полном сечении взаимодействия тепловых нейтронов с ядрами  $^{239}\text{Pu}$ .

Было получено, что асимметрия  $\mathcal{P} = (6,66 \pm 1,63) \cdot 10^{-7}$ . Этот результат представлял несомненный интерес в свете того, что до этого на делящихся ядрах наблюдалась только асимметрия в разлете осколков деления. Между тем для экспериментальной проверки теории желательнее иметь несколько различных эффектов для сопоставления их в рамках данной модели. Для интерпретации результатов в модели смешивающихся компаунд-состояний<sup>/2,3/</sup> требуется знание параметров соответствующих  $s$ - и  $p$ -резонансов. Однако, в то время как  $s$ -резонансы плутония хорошо известны, в литературе нет информации о его  $p$ -резонансах (см., например,<sup>/5/</sup>). Правда, авторы работы<sup>/1/</sup> приводят оценки параметров гипотетического  $p$ -резонанса  $^{239}\text{Pu}$ , которые они получили, используя данные из исследования  $P$ -нечетных и четных эффектов в реакции деления этого ядра. В частности, для оценки энергии  $p$ -резонанса они воспользовались результатами исследований зависимости от энергии коэффициента  $P$ -нечетной асимметрии разлета осколков деления плутония в окрестности его  $s$ -резонанса с энергией 0,3 эВ, опубликованными в<sup>/6,7/</sup>. В процессе получения этой оценки авторы работы<sup>/1/</sup> исходили из того, что в соответствии с<sup>/3/</sup> коэффициент асимметрии вблизи  $p$ -резонанса меняет знак. Поэтому, как изложено в<sup>/1/</sup>, после усреднения данных из работ<sup>/6/</sup> и<sup>/7/</sup> по результирующим данным была проведена кривая, спадающий участок которой при  $E > 0,3$  эВ экстраполирован до пересечения с осью абсцисс. Однако, на наш взгляд, применение такого способа для получения энергии гипотетического  $p$ -резонанса  $^{239}\text{Pu}$  с помощью данных из<sup>/6/</sup> и<sup>/7/</sup> не имеет достаточных оснований. Дело в том, что, хотя по утверждению авторов работы<sup>/6/</sup> их данные хорошо согласуются с наличием при энергии около 0,5 эВ  $p$ -резонанса, авторы работы<sup>/7/</sup> (см. также<sup>/8/</sup>) на основе большого объема экспериментальной информации приходят к выводу, что наблюдаемое ими поведение коэффициента асимметрии в интервале энергии  $0,05 \div 0,6$  эВ связано только с  $s$ -резонансом 0,3 эВ плутония. Отсюда следует, что гипотетический  $p$ -резонанс  $^{239}\text{Pu}$  расположен за пределами указанного интерва-

ла. Учитывая все это, мы провели экспериментальное исследование с целью поиска слабых резонансов в сечении взаимодействия резонансных нейтронов с плутонием, которые могли бы рассматриваться в качестве кандидатов на роль обсуждаемого р-резонанса. В настоящей работе мы сообщаем результаты этого исследования. Здесь же мы приводим результаты измерений асимметрии пропускания продольно-поляризованных нейтронов через плутониевый образец, проведенных нами ранее (еще в 1982 г.). В свое время мы не стали их публиковать по той причине, что отсутствие искомой асимметрии в пределах достигнутой точности, а также полная неопределенность, связанная с р-резонансом, не оставляли возможности для интерпретации полученных результатов. Однако после появления работы<sup>/1/</sup> нам представляется полезным опубликовать эти данные.

## 2. ПОИСК СЛАБЫХ РЕЗОНАНСОВ

Метод исследования состоял в измерении скорости счета  $\gamma$ -квантов, испускаемых образцом, в зависимости от энергии захваченных нейтронов. Измерения проводились на пучке нейтронов импульсного реактора ИБР-30 ЛНФ ОИЯИ. Реактор работал в бустерном режиме с линейным ускорителем ЛУЭ-40<sup>/9/</sup>. Средняя мощность реактора составляла 9,5 кВт при длительности вспышки нейтронов около 4 мкс и частоте повторения 100 с<sup>-1</sup>. Схема эксперимента представлена на рис.1.

Исследуемый образец представлял собой круглую пластину из металлического плутония-239 высокой чистоты, диаметр которой был 80 мм и толщина  $1,14 \cdot 10^{21}$  ядер/см<sup>2</sup>. Во время измерений он находился в центре жидкостного сцинтилляционного детектора<sup>/10/</sup>, регистрирующего  $\gamma$ -кванты образца в пределах телесного угла, близкого к  $4\pi$ . Для уменьшения фона от радиоактивного образца шесть независимых секций этого детектора были включены в систему двукратных совпадений. Кроме того, сам образец был закрыт свинцовым чехлом толщиной 3 мм. Энергия нейтронов, падающих на образец, измерялась методом времени пролета. Длина пролетной базы от реактора до детектора состав-

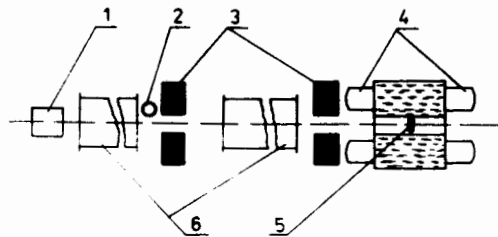


Рис.1. Схема эксперимента. 1 – реактор, 2 – вакуумные нейтроноводы, 3 – коллиматоры, 4 – п,γ-детектор, 5 – образец, 6 – мониторный счетчик.

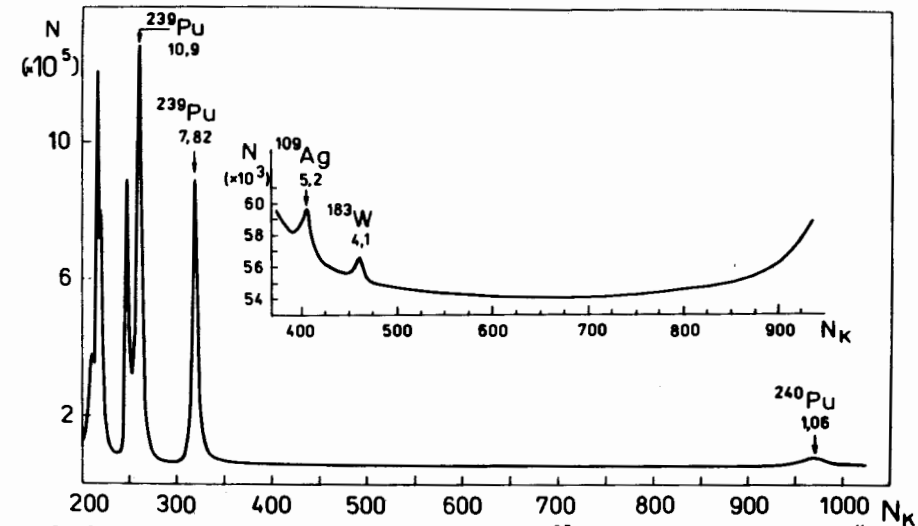


Рис.2. Зависимость скорости счета  $\gamma$ -квантов  $N$  от времени пролета нейтронов. Вверху показаны энергии резонансов в эВ и изотопы, которым принадлежат эти резонансы. Отдельно изображен график в увеличенном масштабе.  $N_k$  – номер временного канала.

ляла около 60 м. Сигналы детектора подавались на вход измерительного модуля<sup>/11/</sup>, накапливавшего временной спектр. Ширина временного канала равнялась 4 мкс, время измерения составило 22 часа. Измеренная в результате эксперимента зависимость скорости счета  $\gamma$ -квантов от времени пролета нейтронов представлена на рис.2. Отдельно представлен участок с энергией от 1,1 эВ до 7 эВ. На нем не видно каких-либо особенностей, указывающих на слабые резонансы плутония-239. Резонансы при энергии 5,2 эВ и 4,1 эВ принадлежат микропримесям серебра и вольфрама, содержащимся в свинцовом чехле, как это было показано в дополнительном измерении без плутония. На основе результатов данного измерения можно получить верхнюю оценку для приведенной нейтронной ширины  $g\Gamma_p^{n1}$  гипотетического р-резонанса  $^{239}\text{Pu}$ . Область энергии нейтронов, для которой проводилась такая оценка, ограничивалась снизу сильным резонансом примесного изотопа  $^{240}\text{Pu}$  с энергией 1,06 эВ, а сверху – резонансом основного изотопа образца с энергией 7,82 эВ.

Оценка  $g\Gamma_p^{n1}$  получена методом наименьших квадратов в предположении, что полная ширина резонанса  $\Gamma = 0,1$  эВ. Нормировка величины  $g\Gamma_p^{n1}$  выполнялась по известному резонансу  $^{239}\text{Pu}$  с энергией 7,82 эВ. В итоге установлен верхний предел для приведенной нейтронной ширины гипотетического резонанса, равный  $2,5 \cdot 10^{-9}$  эВ на уровне 90% достоверности.

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ АСИММЕТРИИ ПРОПУСКАНИЯ ПРОДОЛЬНО-ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ

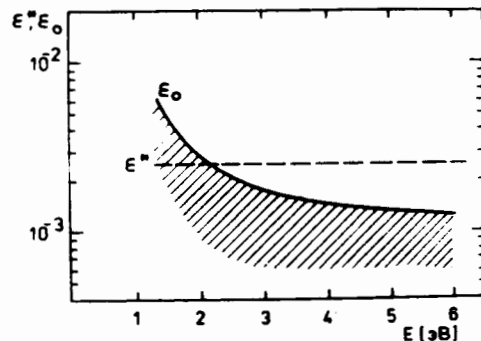
Эксперимент заключался в измерении методом времени пролета двух временных спектров нейтронов  $N^+(t)$  и  $N^-(t)$ , прошедших плутониевый образец при противоположных значениях спиральности. Он проводился на пучке поляризованных резонансных нейтронов реактора ИБР-30<sup>9/</sup>, который работал в реакторном режиме со средней мощностью 20 кВт и длительностью нейтронной вспышки 70 мкс. Установка для получения продольно-поляризованных нейтронов и реверса их спиральности описана в работе<sup>4/</sup>. Поляризация нейтронов  $f_n$  составляла 55%. Исследуемый образец, состоящий из металлического плутония с обогащением 95%, имел цилиндрическую форму с диаметром 44,5 мм и толщиной  $0,93 \cdot 10^{23}$  ядер/см<sup>2</sup>. Он размещался в соленоиде с продольным магнитным полем напряженностью 200 Э. Нейтроны, прошедшие образец, регистрировались сцинтилляционным детектором с Li-стеклом, расположенным на расстоянии около 60 м от активной зоны реактора. Измерение проводилось с помощью измерительного модуля<sup>11/</sup>, который накапливал временные спектры, контролировал интенсивность и поляризацию пучка нейтронов, а также управлял реверсом спиральности. Для уменьшения влияния различного рода флуктуаций (интенсивности пучка нейтронов, параметров регистрирующей аппаратуры и т.д.) через каждые 40 с производилось изменение направления поляризации пучка нейтронов. Время проведения измерения составило 57 часов.

Величина  $\epsilon(E)$  асимметрии пропускания образцом нейтронов с энергией  $E$  вычислялась по формуле

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

Значения полученной таким образом асимметрии в исследованной области энергий нейтронов не испытывают аномальных отклонений от ну-

Рис.3.  $\epsilon_0$  — зависимость верхней границы асимметрии пропускания от энергии нейтронов, полученная в данном эксперименте.  $\epsilon^*$  — величина асимметрии пропускания в гипотетическом р-резонансе при энергии  $E$  на основании эффекта в тепловой точке<sup>1/</sup>.



левого значения. Результаты данного эксперимента представлены на рис.3 в виде энергетической зависимости верхней границы  $\epsilon_0(E)$  искомой асимметрии на уровне 90% достоверности.

### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Основные результаты настоящей работы заключаются в следующем. В области энергий  $1,1 \div 7,5$  эВ установлен экспериментальный верхний предел для приведенной нейтронной ширины гипотетического р-резонанса  $^{239}\text{Pu}$ , равный  $2,5 \cdot 10^{-9}$  эВ. В резонансной области энергий изменена асимметрия пропускания продольно-поляризованных нейтронов и для ее величины в интервале энергий  $1,1 \div 6,5$  эВ установлена верхняя граница.

Результаты нашей работы полезно сопоставить с результатом работы<sup>1/</sup>. Можно показать, что асимметрия пропускания продольно-поляризованных нейтронов, наблюдаемая в р-резонансе, связана с асимметрией полного сечения взаимодействия нейтронов при тепловой энергии  $\mathcal{P}(E_T)$  соотношением

$$\epsilon(E_p) = n \sigma_t(E_T) \mathcal{P}(E_T) \frac{E_p^2}{E_p^2 - E_s^2} \left( \frac{2E_p}{\Gamma_p} \right)^2 \quad (2)$$

где  $n$  — число ядер на см<sup>2</sup> образца;  $\sigma_t(E_T)$  — полное сечение при тепловой энергии  $E_T$ ,  $\mathcal{P}(E_T)$  — асимметрия полного сечения при тепловой энергии. В (2) не используется приближение  $E_p \ll E_s$ , выполнявшееся в резонансах с обнаруженным эффектом. Если воспользоваться выражением (2) и для  $\mathcal{P}(E_T)$  подставить значение из работы<sup>1/</sup>, то можно получить ожидаемое в таком случае значение асимметрии пропускания образца в р-резонансе  $\epsilon^*(E_p)$ .

Рассчитанная по формуле (2) величина  $\epsilon^*(E_p)$  приведена на рис.3. При расчете в качестве s-резонанса принимался резонанс с энергией 0,3 эВ, ближайший к тепловой точке, а для р-резонанса  $\Gamma_p = \Gamma_s$ . Как видно из этого рисунка, величина  $\epsilon^*(E)$  лежит несколько выше верхней границы  $\epsilon_0(E)$ , полученной нами для области выше 3 эВ, и ниже для меньшей энергии. Дополнительным ограничением для области  $2 \div 7$  эВ является отсутствие р-резонансов с  $g\Gamma_p^{n1} > 2,5 \cdot 10^{-9}$  эВ, как показали измерения с (п,  $\gamma$ )-детектором. Таким образом, эффект в тепловой точке может быть связан с р-резонансом, лежащим либо при энергии ниже энергии связи нейтрона, либо в области ниже 3 эВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Л.Н., Жуков С.В., Кузнецов В.Л. – Письма в ЖЭТФ, 1987, т.46, вып.6, с.222.
2. Сушков О.П.0 Фламбаум В.В. – УФН, 1982, 136, с.2.
3. Vlnakov V.E., Gudkov V.P. – Nucl.Phys., 1983, A401, p.93.
4. Alfimenkov V.P. et al. – Nucl.Phys., 1983, A398, p.93.
5. Mughabghab S.F. Neutron Cross Section, Academic Press, 1984, v.1, Part B.
6. Беда А.Г., Воденников Б.Д., Данилян Г.В. и др. Препринт ИТЭФ-162, М., 1984.
7. Александрович А.Я., Вальский Г.В., Голосовская С.П. и др. Препринт ЛИЯФ-994, Л., 1984.
8. Александрович А.Я., Вальский Г.В., Голосовская С.П. и др. – ЯФ, 1987, т.45, вып.5, с.1245.
9. Франк И.М. – ЭЧАЯ, 1972, 2, вып.4, с.805.
10. Малецки Х. и др. ОИЯИ, 13-6609, Дубна, 1972.
11. 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.

P3-88-319

Изучение возможного нарушения пространственной четности в пропускании продольно-поляризованных резонансных нейтронов через образец  $^{239}\text{Pu}$

Экспериментально получена верхняя оценка асимметрии сечения при пропускании продольно-поляризованных нейтронов через мишень  $^{239}\text{Pu}$  в области энергий  $1 + 7$  эВ. Из измерения радиационного захвата нейтронов ядрами  $^{239}\text{Pu}$  получена верхняя оценка приведенной нейтронной ширины гипотетического р-резонанса в этой же области энергии нейтронов. Полученные данные сопоставляются с известным эффектом асимметрии в тепловой точке.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Alfimenkov V.P. et al.

P3-88-319

The Study of Space Parity Possible Violation in Transmission of Longitudinally Polarized Resonance Neutrons through  $^{239}\text{Pu}$  Sample

The paper reports on an experimental upper limit for the cross section asymmetry in the transmission of longitudinally polarized neutrons through a  $^{239}\text{Pu}$  target in the energy range from 1 to 7 eV. Measurements on radiative capture of neutrons by  $^{239}\text{Pu}$  nuclei yield an upper limit for the reduced neutron width of a hypothetical p-resonance in the same energy range. The obtained results are compared with the known effect of asymmetry for thermal point.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988