

C-44

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3-95-71

На правах рукописи
УДК 539.172.4

СКОЙ
Вадим Рудольфович

ПОИСК НАРУШЕНИЯ Т-ИНВАРИАНТНОСТИ
В РЕАКЦИЯХ $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$ И $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)^{118}\text{Sn}$
С НЕПОЛЯРИЗОВАННЫМИ НЕЙТРОНАМИ
ВБЛИЗИ Р-ВОЛНОВЫХ РЕЗОНАНСОВ

Специальность: 01.04.16 — физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1995

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка
Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна.

Научный руководитель -
доктор физико - математических наук
ведущий научный сотрудник

Э.И. Шарапов

Официальные оппоненты:
доктор физико - математических наук
ведущий научный сотрудник, профессор

В.Е. Бунаков

доктор физико - математических наук
ведущий научный сотрудник, профессор

В.Г. Калинин

Ведущее предприятие: Институт общей и ядерной физики
Российского научного центра Курчатовский институт

Защита диссертации состоится "___" _____ 1995 г. в "___" час
на заседании специализированного совета Д 047.01.05 при Лаборатории
нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного
института ядерных исследований, Дубна Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ

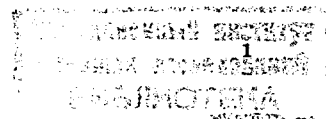
Автореферат разослан "___" _____ 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

А.Г. Попеко

Общая характеристика работы

АКТУАЛЬНОСТЬ. В настоящее время обсуждается и проводится подготовка к различным типам экспериментов по обнаружению временной неинвариантности в ядерных реакциях нейтронов с ядрами. Большой интерес к этой проблеме связан с экспериментальным обнаружением усиления P - нечетных эффектов вблизи p - волновых нейтронных резонансов, достигающих 10 %, и ожидаемым усилением T - нечетных эффектов. В большинстве экспериментов предполагается изучать взаимодействие поляризованных нейтронов с поляризованными или выстроенными ядрами. Но для постановки такого рода экспериментов нужно решить целый ряд технических проблем, связанных с наличием ложных эффектов и созданием качественных поляризованных и ориентированных мишеней. Однако в последние годы было показано, что T - нечетная P - четная корреляция $\bar{\sigma}_n[\vec{I} \times \vec{k}_n](\vec{I} \cdot \vec{k}_n)$ может быть обусловлена отличием в присутствии T - нечетных сил амплитуды упругого рассеяния нейтрона из состояния $p_{1/2}$ в состояние $p_{3/2}$ от амплитуды обратного процесса. Это отличие приводит также к появлению мнимых частей u амплитуд нейтронных и радиационных ширин. Последнее обстоятельство может быть проверено в экспериментах по изучению угловых корреляций γ - квантов в резонансных (n, γ) реакциях. Данная диссертация посвящена именно этой цели: экспериментальному обоснованию метода измерения T - неинвариантности в реакциях с неполяризованными нейтронами. К настоящему времени в работе получены первые результаты - оценки на величину отношения T - неинвариантного взаимодействия к расстоянию между соседними p - волновыми резонансами - для реакций $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ ^{114}Cd и $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)$ ^{118}Sn . Достигнутая точность не позволяет сделать заключение о наличии T - нечетного взаимодействия, но полученная информация



позволяет надеяться на достижение лучшей точности при дальнейшем развитии методики.

ЦЕЛЮ ДАННОЙ РАБОТЫ ЯВЛЯЕТСЯ:

1. Исследование возможности получения информации от T - нечетном, P - четном взаимодействии в резонансных (n,γ) реакциях.
2. Измерение и анализ экспериментальных данных по угловым корреляциям в $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$ и $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)^{118}\text{Sn}$ реакциях с неполяризованными нейтронами для извлечения энергетического сдвига, связанного с T - нечетным взаимодействием.
3. Оценка перспектив использованной экспериментальной методики для изучения нарушения T - инвариантности.

Для получения информации о T - нечетном, P - четном взаимодействии в данной диссертации применялась методика изучения угловых корреляций в резонансных (n,γ) реакциях, которая была реализована в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Первоначально она была создана для изучения угловых корреляций в резонансных реакциях с целью извлечения амплитуд нейтронных ширин. Подробное описание методики приведено в обзоре [4].

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ:

В настоящей работе впервые проведено исследование нарушения T - инвариантности в резонансных $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$ и $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)^{118}\text{Sn}$ реакциях. Полученная экспериментальная информация дает оценку на величину отношения матричных элементов T - нечетного P - четного и T - четного P - нечетного взаимодействий, а также стимулирует дальнейшие исследования

в этой области в рамках методики изучения угловых корреляций в (n,γ) реакциях. Кроме того, измерена энергетическая зависимость и величины полного сечения, сечения рассеяния и радиационного захвата нейтрона, интенсивности прямых и вторичных γ - переходов при захвате тепловых нейтронов изотопом ^{117}Sn . Эта спектроскопическая информация имеет самостоятельную ценность для других исследований.

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:

1. Обоснована экспериментальная возможность изучения T - неинвариантного взаимодействия при измерении асимметрии выхода γ - квантов вперед - назад в резонансных (n,γ) реакциях с неполяризованными нейтронами и ядрами.
2. Выполнены эксперименты по измерению асимметрии выхода γ - квантов вперед - назад в p - резонансах $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$ и $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)^{118}\text{Sn}$ реакций с неполяризованными нейтронами и ядрами.
3. С помощью методики изучения угловых корреляций в реакциях $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$ и $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)^{118}\text{Sn}$ получены верхние пределы на величину $\beta = v_p^T / D_p$, где D_p расстояние между соседними p - резонансами и v_p^T - матричный элемент T - неинвариантного взаимодействия.
4. Количественно проанализированы источники возможных систематических ошибок и показано, что они не влияют существенно на результаты измерений.
5. Проанализированы перспективы дальнейшего развития методики с целью увеличения точности результатов.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Материалы положенные в основу диссертации докладывались на конференции Американского института физики по спектроскопии γ - квантов (Пасифик Гроув, Калифорния, США,

малости нейтронных ширин ($\Gamma_n \approx 10^{-6}$ эВ). Эта спектрометрическая информация необходима для извлечения матричного элемента P - нечетного взаимодействия. Разработанная в ЛНФ ОИЯИ методика измерений P - четных асимметрий в (n, γ) - реакциях в окрестности p - резонанса позволила получить экспериментальные данные, необходимые для оценки T - нечетного взаимодействия в подходе А. Барабанова. В рамках методики изучались асимметрии выхода γ - квантов вперед - назад и влево - вправо на неполяризованном и поляризованном нейтронных пучках соответственно в реакциях $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$ и $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)^{118}\text{Sn}$. Дифференциальное сечение, описывающее оба типа корреляций при захвате s - и p - волновых нейтронов ядрами со спинами $I = 1/2^+$ с образованием компаунд - состояний с полными моментами $J^\pi = 1^+$ и $J^\pi = 1^-$ соответственно, и последующим переходом в основное состояние ядра - продукта с $I_f^\pi = 0^+$ при испускании γ -квантов мультипольностей $M1$ и $E1$ имеет вид $\sigma(\vec{k}_n, \vec{k}_\gamma) = A_0 + A_1(\vec{k}_n, \vec{k}_\gamma) + B_1(\vec{\sigma}_n[\vec{k}_n \times \vec{k}_\gamma]) + A_2[(\vec{k}_n, \vec{k}_\gamma) - 1/3]$, где коэффициенты A_i и B_1 выражаются через параметры резонансов и энергию падающих нейтронов. В частности A_1 описывает асимметрию выхода γ - квантов вперед - назад на неполяризованном нейтронном пучке. Соответствующая дисперсионная кривая пересекает нуль при энергии нейтронов, равной энергии p - резонанса. T - инвариантное взаимодействие, смешивающее соседние p - резонансы и приводящее к появлению дополнительных фаз у амплитуд нейтронных и радиационных ширин, сдвигает точку пересечения нуля кривой A_1 на величину пропорциональную матричному элементу v_p^T .

$$\delta E_{sp}^T \propto \frac{v_p^T \Gamma_p}{2D_p},$$

где Γ_p ширина изучаемого p - резонанса. Извлечение этого сдвига и стало целью работы. В этой же главе приводятся в общем виде измеряемые отношения для разных типов угловых корреляций.

В четвертой главе подробно описана методика изучения угловых γ - корреляций и анализа данных. Описаны условия, в которых проводились измерения по времени пролета на пучках реакторов ИБР - 30 и ИБР - 2 ЛНФ ОИЯИ. В экспериментах изучались асимметрии выхода γ - квантов вперед - назад и влево - вправо в реакциях $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$ и $^{117}\text{Sn}(n, \gamma)^{118}\text{Sn}$ в окрестности p - волновых резонансов с $E_p = 7$ эВ и $E_p = 1.33$ эВ соответственно. γ - спектры регистрировались для каждого временного окна, которые располагались вблизи изучаемых нейтронных резонансов для обоих положений детекторов. Далее подробно описаны особенности измерения γ - спектров с энергией ≈ 9 МэВ детекторами NaI(Tl) большого объема, которые использовались в экспериментах. Приводятся параметры образцов ^{113}Cd и ^{117}Sn и описана схема регистрирующей электроники в стандарте КАМАК. Особое внимание уделено устранению и контролю аппаратурной асимметрии по линиям прямого γ - перехода в железе с $E_\gamma = 9.04$ МэВ при измерениях с кадмием и вторичного γ - перехода в олове ^{118}Sn с $E_\gamma = 1.23$ МэВ. Для устранения фона проводились дополнительные измерения с эквивалентным рассеивателем - углеродом. В измерениях с ^{113}Cd фон определялся с помощью резонансного фильтра: в пучке постоянно находился образец металлического тантала, который полностью выводил из пучка нейтроны с энергиями 4.3 и 10.3 эВ. Это позволило интерполировать фон в область изучаемого резонанса 7 эВ. Полученная информация - амплитудные γ - спектры во временных окнах для обоих положений детекторов - являлась исходной для получения энергетического сдвига, связанного с T - нечетным взаимодействием. В пятой главе подробно описан метод обработки экспериментальных данных и количественный анализ возможных источников систематических ошибок. Исходной информацией для извлечения сдвига δE_{sp}^T из данных по асимметрии вперед - назад были времяпролетные спектры, соответствующие прямым γ - переходам с $E_\gamma = 9.04$ МэВ в ^{114}Cd и $E_\gamma = 9325$ МэВ

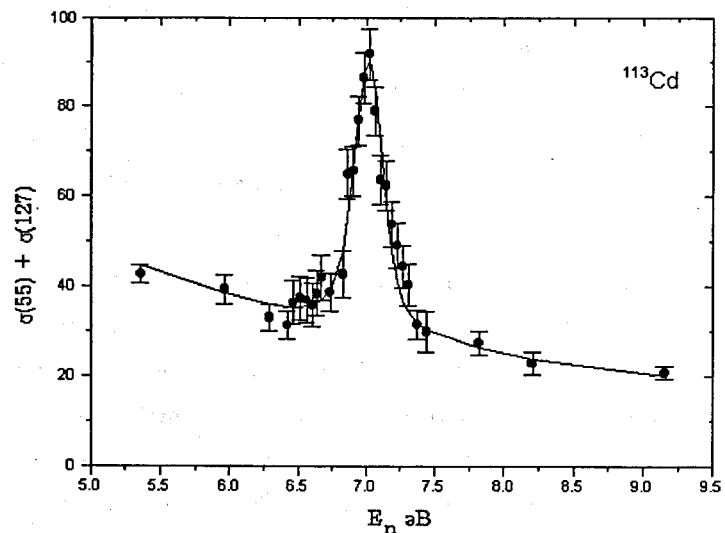


Рис. 1. Суммарный спектр для кадмия $N(53^\circ) + N(127^\circ)$. Точки - экспериментальные данные. Линия - подгоночная кривая.

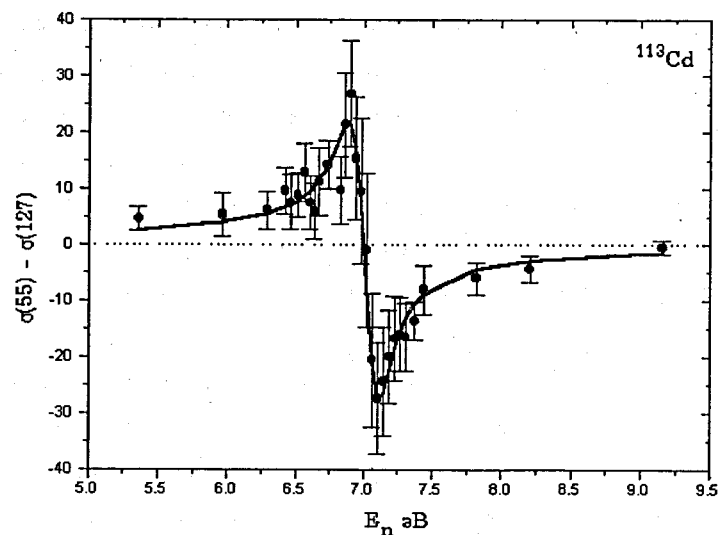


Рис. 2. Разностный спектр для кадмия. $N(53^\circ) - N(127^\circ)$ Точки - экспериментальные данные. Линия - подгоночная кривая.

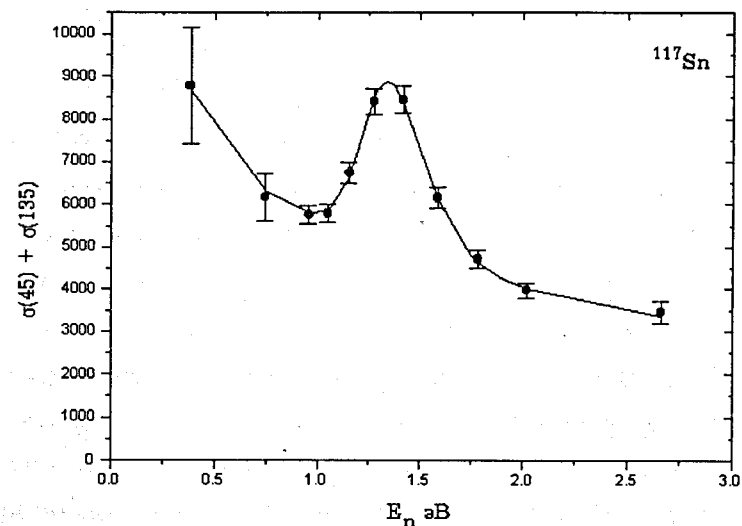


Рис. 3. Суммарный спектр для олова $N(45^\circ) + N(135^\circ)$. Точки - экспериментальные данные. Линия - подгоночная кривая.

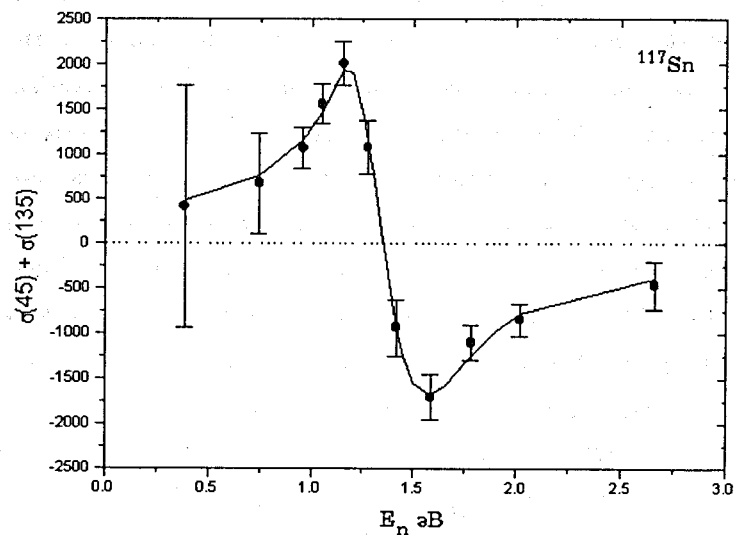


Рис. 4. Разностный спектр для олова $N(45^\circ) - N(135^\circ)$. Точки - экспериментальные данные. Линия - подгоночная кривая.

в ^{118}Sn $N(\theta)$ и $N(\pi-\theta)$, где θ - угол расположения детектора относительно направления импульса нейтронов. Сумма спектров $N(\theta) + N(\pi - \theta)$ пропорциональна $A_0 + A_2$ (или A_0 при определенном выборе угла θ) и не зависит от δE_{sp}^T , а разность $N(\theta) - N(\pi - \theta) \approx A_1$ и зависит от сдвига. Поэтому сумма $N(\theta) + N(\pi - \theta)$ использовалась для извлечения подгонкой по χ^2 параметров резонансов (см. рис. 1,3), с помощью которых затем подгонкой $N(\theta) - N(\pi - \theta)$ вычислялся сдвиг δE_{sp}^T (см. рис. 2,4). Для получения $N(\theta) + N(\pi - \theta)$ и $N(\theta) - N(\pi - \theta)$ из исходных спектров вычитался фон, проводилась нормировка и перекалибровка. Необходимость последней связана с дрейфом коэффициента усиления спектрометрических трактов. Для этого была разработана итерационная процедура, которая обеспечивала единую калибровку спектров в отдельных сериях измерений с сохранением суммарного числа отсчетов в области изучавшихся γ - переходов. Далее количественно проанализированы источники возможных систематических ошибок при определении δE_{sp}^T . Было проверено качество устранения геометрической асимметрии, связанной с несимметричной установкой детекторов под углами θ и $\pi - \theta$. В этом случае вклад члена A_1 в суммарный спектр компенсируется не полностью. Кроме того был количественно определен вклад члена A_2 для измерений с оловом. Наконец была сделана оценка вклада захвата нейтрона после рассеяния (5%). Анализ показал, что указанные источники ошибок не влияют существенно на полученные результаты. В таблице 1 приведены полученные значения δE_{sp}^T

Нуклид	δE_{sp}^T мэВ	β
^{113}Cd	-8.76 ± 11.19	0.14
^{117}Sn	-3.15 ± 5.96	0.077

В шестой главе получен верхний предел на величину ϕ - отношения сил Т - нечетного Р - четного и Т - и Р - четного взаимодействий. С учетом

фактора динамического усиления $\beta \approx 10^3 \phi$, соответствующий предел для ϕ получается на уровне 10^{-4} . Далее обсуждаются возможности данной методики с целью увеличения точности получаемого результата и некоторые другие типы угловых корреляций, способных дать дополнительную информацию о Т - нечетном взаимодействии. В первую очередь исследован вопрос о зависимости ошибки определения δE_{sp}^T от числа точек в спектре и статистики спектров. Полученный результат позволяет надеяться на уменьшение ошибки δE_{sp}^T по крайней мере до десятых долей мэВ. Помимо этого рассмотрена возможность извлечения v_p^T из данных для асимметрии влево - вправо, однако точность результата, полученного из существующих данных недостаточна. Здесь, кроме того, есть не решенная до сих пор проблема несогласовки величин амплитуд нейтронных ширин в этих двух типах экспериментов, которая не позволяет совместно использовать получаемые результаты. Полученная спектроскопическая информация позволяет планировать изучение Т - неинвариантности в других, возможно более оптимальных, γ - переходах ядер ^{113}Cd и ^{117}Sn .

Таким образом, вполне реально снизить верхний предел на ϕ еще на порядок уже в ближайшем будущем.

Работы, положенные в основу диссертации

1. Ляпин Д.И. Саламатин И.М., Сиротин А.П. Ской В.Р., Тишин В.Г., Шарапов Э.И. Асимметрия "вперед-назад" выхода γ -квантов с $E_\gamma=9325$ кэВ в реакции $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)$ в эпитепловой области: Сообщения ОИЯИ - Дубна, 1989. -РЗ-90-125. -8С.
2. Ской В.Р., Шарапов Э.И. Полные и парциальные нейтронные сечения ^{117}Sn при $E < 5$ эВ : Сообщения ОИЯИ. -Дубна. 1990 - РЗ-90-126. -7С.

Горзакор С.Б.

Хруцкий А.С. Шарпов Э.И.

3. Алфименков В.П., Мареев Ю.Д., Пикельнер Л.Б., Ской В.Р., ~~Швецов В.И.~~
Р-четные эффекты в реакции $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ в области резонанса $E_p=7$ эВ // Ядерная Физика, -1990 -Т.52, -Вып.4(10) -С.927-932
4. Ской В.Р., Шарпов Э.И. Р-четные угловые корреляции в резонансных (n, γ) реакциях // ЭЧАЯ. -1991: -Т.22, -Вып.6, -С.1400-1430
5. Skoy V.R., Sharapov E.I. Gamma-ray intensities following thermal neutron capture in ^{117}Sn // Capture gamma - ray spectroscopy: American Institute of Physics Conference Proc. 238, Pacific Grove, CA, USA, 1990, - American Institute of Physics, New York, 1991 -P.633-635
6. Barabanov A.L, Sharapov E.I., Skoy V.R., Frankle C.M. Testing T-odd, P-even interactions with γ rays from neutron p - wave resonances // Phys. Rev. Lett. -1993. -Vol. 70, -P.1216-1219
7. Barabanov A.L, Sharapov E.I., Skoy V.R., Frankle C.M. P-even T-violation from the energy shift in nonpolarized (n, γ) reaction // Time Reversal Invariance and Parity Violation in Neutron Reactions: Proc. of the Second International Workshop Time Reversal Invariance and Parity Violation in Neutron Reactions, Dubna, Russia, 4-7 may 1993. - World Scientific Publishing Co. Singapore, 1994. -P.175-182.
8. Skoy V.R., Sharapov E.I. Measurement of T-odd, P-even effects in $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)$ ^{118}Sn reaction // Time Reversal Invariance and Parity Violation in Neutron Reactions: Proc. of the Second International Workshop Time Reversal Invariance and Parity Violation in Neutron Reactions, Dubna, Russia 4-7 may 1993. - World Scientific Publishing Co. Singapore, 1994. -P.183-186.
9. Skoy V.R., Sharapov E.I. Measurement of T-odd, P-even effects in $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)$ ^{114}Cd and $^{117}\text{Sn}(n,\gamma)$ ^{118}Sn reaction // Capture gamma - ray spectroscopy and related topics: Proc. of the Eighth International symposium on Capture gamma - ray spectroscopy and related topics, Fribourg, Switzerland, 20-24 september 1993 -World Scientific Publishing Co. Singapore, 1994, -P.805-811

Рукопись поступила в издательский отдел
21 февраля 1995 года.