

НАБЛЮДЕНИЕ ЭФФЕКТОВ НЕСОХРАНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ В ИНТЕГРАЛЬНОМ СПЕКТРЕ ГАММА-КВАНТОВ (n, γ)-РЕАКЦИИ НА ЯДРАХ Cl, Br, Cd, Sn И La

В.А.Весна, Э.А.Коломенский, В.М.Лобашев¹⁾, В.А.Назаренко,
А.Н.Пирожков, Л.М.Смотрицкий, Ю.В.Соболев, Н.А.Титов¹⁾

Обнаружена P -нечетная асимметрия испускания γ -квантов при захвате тепловых поляризованных нейтронов ядрами Cl, Br и La и циркулярная поляризация γ -квантов при захвате неполяризованных нейтронов ядрами Cl, Br, Sn и La.

Эффекты нарушения пространственной четности в (n, γ)-реакции были обнаружены в 60 – 70-х годах¹⁻³ для выделенных γ -переходов, в которых имеет место, помимо динамического, так называемый кинематический фактор усиления⁴, связанный с усилением амплитуды примесного $E1$ -перехода по сравнению с основным $M1$ -переходом. В последние годы опубликованы результаты по наблюдению эффектов несохранения P -четности в нейтронной оптике⁵⁻⁷. Теоретическая интерпретация последних была предложена в работе⁸, основная идея которой состоит в том, что эффекты несохранения P -четности усилены вблизи p -волнового резонанса.

В настоящей работе исследовались эффекты нарушения четности в интегральном спектре γ -квантов (n, γ)-реакции на ядрах хлора, брома, кадмия, олова и лантана, причем измерялись эффекты двух типов: асимметрия вылета γ -квантов по- и против направления спина нейтрона при захвате тепловых поляризованных нейтронов и циркулярная поляризация γ -квантов при захвате неполяризованных нейтронов. Работа выполнена на реакторе ВВР-М ЛИЯФ им. Б.П.Константинова АН СССР.

Установка для измерения асимметрии и процедура измерений на ней описаны в работе⁶. Пучок поперечно поляризованных нейтронов с длиной волны $\lambda_{\text{ср}} \cong 2,7 \text{ \AA}$ проходил через образец, окруженный защитой из ${}^6\text{LiF}$. Гамма-детекторы – сцинтилляционные счетчики – размещались по обе стороны образца. Асимметрия искалась в виде $W \sim (1 + a_\gamma \cdot \vec{\sigma} \cdot \mathbf{n}_\gamma)$, где a_γ – коэффициент асимметрии, $\vec{\sigma}$ и \mathbf{n}_γ – единичные векторы по направлению спина нейтрона и импульса γ -кванта, соответственно. В эксперименте измерялась величина $\delta' = (I^+ - I^-) / (I^+ + I^-)$, где I^\pm – интенсивности регистрируемых γ -квантов при противоположных направлениях спина нейтрона. Переворот поляризации пучка нейтронов осуществлялся высокочастотным адиабатическим флиппером раз в 2 с. Использовался интегральный метод регистрации γ -квантов. Результаты измерений приведены в таблице (колонки 2 и 3).

Коэффициент асимметрии a_γ вычислен с учетом поправки на фон (4 – 10%), $\cos \theta$ и поляризацию пучка (95%). Проверка вклада в эффект жестких γ -квантов, выполненная на La и Sn с дополнительными свинцовыми фильтрами толщиной 4 и 8 мм перед детекторами, не обнаружила как видно из таблицы, существенного увеличения эффекта.

Циркулярная поляризация γ -квантов измерялась на установке, аналогичной описанной в работе⁹, предназначенной для исследования реакции $np \rightarrow d\gamma$. Подробное описание этой установки будет опубликовано позднее.

Мишени Cl, Br, Sn и La представляли собой смесь соответствующего соединения (NaCl , NaBr , металлическое олово, La_2O_3) с порошком графита, упакованную в герметический циркониевый контейнер. Кадмиевая мишень состояла из двух пластинок Cd тол-

¹⁾ Институт ядерных исследований АН СССР, г. Москва.

щиной 0,5 мм, расположенных между графитовыми блоками в циркониевой оболочке. Мишени помещались в водную полость (диаметром 120 мм) в активной зоне реактора. Для защиты от гамма-излучения зоны полость была окружена трехслойным свинцовым экраном толщиной 90 мм. Гамма-кванты от мишени выводились по четырехметровому каналу – коллиматору к поляриметру типа „на прохождение” с толщиной поглотителя 70 мм. Поляриметр состоял из двух половин, намагничиваемых в противоположных направлениях. Прошедшие через каждую половину γ -кванты регистрировались отдельным сцинтилляционным детектором в интегральном режиме. Флюктуации мощности реактора устранялись путем вычитания сигналов двух детекторов (при этом искомым сигнал удваивается). Экспериментальный эффект определялся в виде $\delta'' = 2(I^+ - I^-) : (I^+ + I^-)$, где I^\pm – интенсивности γ -квантов, прошедших через поглотитель при противоположных направлениях его намагничивания, которое менялось раз в секунду. Циркулярная поляризация γ -квантов определялась по формуле $P_\gamma = \delta'' / \epsilon$, где ϵ – поляризационная эффективность, равная $\approx 5\%$.

Мишени		$\delta'_{\text{эксп}} \cdot 10^6$	$a_\gamma \cdot 10^6$	$\delta''_{\text{эксп}} \cdot 10^6$	$P_\gamma \cdot 10^5$
Cl		$-24,5 \pm 4,3$	$-27,8 \pm 4,9^{1)}$	$2,8 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,5$
Br		$-17,2 \pm 1,4$	$-19,5 \pm 1,6$	$1,31 \pm 0,05$	$3,1 \pm 0,2$
Cd		$-1,1 \pm 1,2$	$-1,3 \pm 1,4$	$0,09 \pm 0,035$	$\leq 0,3$
Sn (естеств.)		—	—	$0,46 \pm 0,065$	$1,9 \pm 0,5$
^{117}Sn	без фильтра	$2,1 \pm 1,4$	$2,4 \pm 1,6$	—	—
	фильтр 8 мм	$0,3 \pm 1,7$	$0,3 \pm 1,9$	—	—
La	без фильтра	$-15,7 \pm 1,9$	$-17,8 \pm 2,2$	$-5,3 \pm 0,3$	$-16,0 \pm 2,5$
	фильтр 4 мм	$-20,7 \pm 2,2$	$-23,5 \pm 2,5$	—	—

Проверка вклада в измеряемый эффект от γ -квантов зоны осуществлялась в измерениях с вытеснением воды в полости двумя графитовыми мишенями. Вклад от γ -квантов (n, γ)-реакции на конструкционных материалах полости, мишеней и на остаточной воде проверялся в отдельных опытах с соответствующими мишенями. Все контрольные опыты показали отсутствие такого вклада на уровне точности $\delta'' \leq 0,5 \cdot 10^{-7}$.

Результаты измерений приведены в таблице (колонки 4 и 5). Приведенная в колонке 4 ошибка является чисто статистической. Значения циркулярной поляризации (колонка 5) рассчитаны с учетом фона γ -квантов (разного для разных мишеней) от остаточной (не вытесненной мишенями) воды и от (n, γ)-реакции на конструкционных материалах. Точный учет фона затруднен отсутствием надежных данных о спектрах (n, γ)-реакций. Оцененная неопределенность включена в приведенную ошибку. Для кадмия дана лишь верхняя граница поляризации, поскольку измеренный эффект не превышает существенно ошибку с учетом возможной систематической.

Обнаруженная поляризация не может быть вызвана тормозным излучением от β -распада изотопов, образующихся в (n, γ)-реакции. Знак эффекта для Cl, Br и Sn противоположен знаку эффекта от тормозного излучения. Эффект на La с достаточной определенностью

¹⁾ Указание на наличие эффекта асимметрии на выделенной линии в реакции $^{35}\text{Cl}(n, \gamma)^{36}\text{Cl}$ было получено в эксперименте Института Лауэ – Ланжевена (Гренобль).

был наблюден в первые 30 минут после вывода реактора на мощность, когда 40-часовая β -активность не успела накопиться. Кроме того, во всех случаях проводились измерения сразу после остановки реактора, когда нет γ -квантов (n, γ)-реакции и эффект от тормозного излучения должен быть относительно усилен. В этих измерениях эффект на уровне требуемой точности не был обнаружен.

Таким образом, в интегральном спектре γ -квантов (n, γ)-реакции обнаружена как асимметрия вылета, так и циркулярная поляризация γ -квантов на ядрах Cl, Br и La (естественная смесь изотопов). Для ^{117}Sn , на котором в работе ⁵ был наблюден эффект вращения плоскости поляризации нейтрона, асимметрия не обнаружена в пределах достигнутой точности, а циркулярная поляризация для естественной смеси изотопов оказалась на уровне 10^{-5} . Если считать, что весь эффект обусловлен изотопом ^{117}Sn , то соответствующая поляризация будет порядка 10^{-4} . Необходимо отметить, что для прямого сравнения полученных значений a_γ и P_γ необходимо учесть различие в спектре нейтронов от поляризующего нейтроновода и в водной полости активной зоны реактора.

В целом интерпретация обнаруженных эффектов в настоящее время затруднена вследствие недостаточности данных о характеристиках γ -переходов из (n, γ)-реакций на исследованных ядрах (спектры (n, γ)-реакций этих ядер весьма сложны). В принципе, эффекты для γ -переходов, идущих из захватного состояния в состояния с разными спинами, должны иметь разные знаки и в существенной степени компенсировать друг друга, сильно уменьшая суммарный эффект в интегральном спектре, чего, по-видимому, не происходит в полной мере. Интересным фактом является также обнаружение больших эффектов для La и Br, у которых основная часть наиболее жестких γ -переходов имеет мультипольность $E1$, т.е. кинематический фактор усиления $\sim 10^{-1}$. Следует обратить внимание, что неизвестен p -волновой резонанс в захвате нейтрона ^{35}Cl близкий к тепловой области.

По-видимому, существующие представления о механизме усиления эффектов несохранения четности в (n, γ)-реакциях и о механизме смешивания высоковозбужденных состояний требуют дальнейшего изучения.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Е.А.Гарусова, А.И.Егорова, А.Н.Ерыкалова, В.А.Князькова, И.И.Мосичева, А.П.Сереброва, Г.Д.Чуклина, А.И.Шабля и Е.В.Шульгину, чья помощь и советы на разных стадиях исследований — от создания установок до проведения измерений — были исключительно полезны, а также персонал реактора ВВР-М ЛИЯФ АН СССР, обеспечивший работу реактора в нужном режиме.

Литература

1. Абов Ю.Г., Крупчицкий П.А., Оратовский Ю.А. Phys. Lett., 1964, 12, 25.
2. Alberi J.L., Wilson R., Schroder I.G. Phys. Rev. Lett., 1972, 29, 518.
3. Данилян Г.В., Новицкий В.В., Павлов В.С., Боровлев С.П., Воденников Б.Д., Дроняев В.П. Письма в ЖЭТФ, 1976, 24, 380.
4. Шапиро И.С. УФН, 1968, 95, 647.
5. Forte M., Heckel B.R., Ramsey N.F., Green K., Greene G.L., Byrne J., Pendlebury J.M. Phys. Rev. Lett., 1980, 45, 2088.
6. Kolomensky E.A., Lobashev V.M., Pirozhkov A.N., Smotrisky L.M., Titov N.A., Vesna V.A. Phys. Lett., 1981, 107B, 272; Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 351.
7. Алфименков В.П., Борзаков С.Б., Во Ван Тхуан, Мареев Ю.Д., Пикельнер Л.Б., Рубин Д., Хрыкин А.С., Шаронов Э.И. Препринт ОИЯИ Р3-81-719, Р3-82-86, Дубна; Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 308.
8. Сушков О.П., Фламбаум В.В. Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, 377; УФН, 1982, 136, 3.

9. *Lobashov V.M., Kaminker D.M., Kharkevich G.I., Kniazkov V.A., Losovoy N.A., Nazarenko V.A., Sayenko L.F., Smotrisky L.M., Jegorov A.I.* Nucl. Phys., 1972, A197, 241.

Институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27 июля 1982 г.

Институт ядерных исследований
Академии наук СССР
