

## НОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ЦИРКУЛЯРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ГАММА-КВАНТОВ В РЕАКЦИИ $np \rightarrow d \gamma$

В.А.Князьков, Э.А.Коломенский, В.М.Лобашев, В.А.Назаренко,  
А.Н.Пирожков, Ю.В.Соболев, А.И.Шаблий, Е.В.Шульгина

В работе приведен новый верхний предел для циркулярной поляризации  $\gamma$ -квантов в реакции радиационного захвата теплового нейтрона протоном, равный  $P_\gamma \leq 5 \cdot 10^{-7}$ .

Среди большого круга работ, посвященных эффектам нарушения пространственной четности в ядерных силах, особого внимания заслуживают исследования на малонуклонных системах, поскольку их результаты могут дать более полную и надежную информацию об амплитуде слабого нуклон-нуклонного взаимодействия, которое, по современным представлениям, обуславливает эти эффекты. Однако именно такие исследования наиболее сложны: малость ожидаемых эффектов ( $\sim 10^{-7} - 10^{-8}$ ) предъявляет особые требования не только к экспериментальной установке и методике измерений, но и к ряду систем самого ускорителя или реактора, используемого в качестве источника частиц. Этим определяется тот факт, что в экспериментах такого типа достигнуть точности, достаточной для обнаружения эффекта, удалось лишь нескольким группам <sup>1-5</sup>, причем величина обнаруженных эффектов, как правило, не превышает двух-трех ошибок.

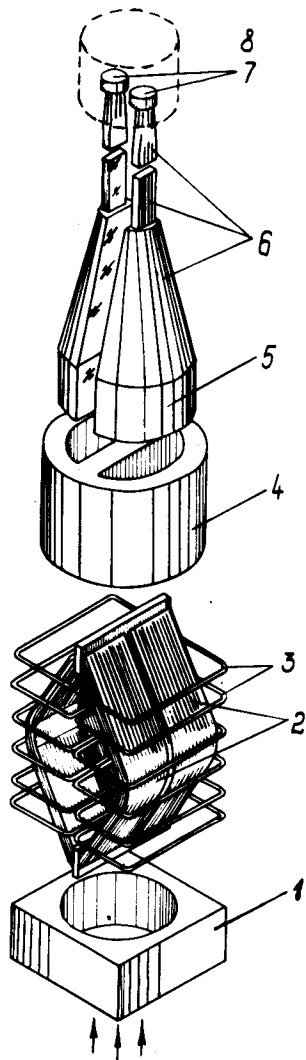
Заметим, что только для случая  $pp$ -рассеяния <sup>1,2</sup> результаты измерений находятся в согласии с теорией.

Данная статья посвящена описанию повторного эксперимента по измерению циркулярной поляризации  $\gamma$ -квантов реакции  $np \rightarrow d \gamma$  на тепловых неполяризованных нейтронах. Результат первого эксперимента <sup>4</sup> на уровне трех стандартных отклонений свидетельствовал о наличии эффекта ( $P_\gamma = - (1,30 \pm 0,45) \cdot 10^{-6}$ ), величина которого почти на два порядка превышала теоретические предсказания <sup>6</sup>.

Работа выполняется на реакторе ВВР-М ЛИЯФ АН СССР. Схема постановки эксперимента аналогична принятой в <sup>4</sup>. Протонной мишенью служит вода 1 контура реактора внутри водной полости, образованной в центре активной зоны, где поток тепловых нейтронов равен  $3 \cdot 10^{14}$  н/см<sup>2</sup> · с. Эффективная активность источника по  $\gamma$ -квантам реакции  $np$ -захвата  $\sim 10^{16}$  1/с. Гамма-кванты от источника выводятся через воду бака реактора по каналу-коллиматору к поляриметру типа „на прохождение”. Эффект ( $\delta$ ) измеряется по относительному изменению интенсивности  $\gamma$ -квантов, прошедших через поглотитель поляриметра при перемене направления его намагничивания, которое производится раз в секунду,  $\delta = 2(I^+ - I^-) / (I^+ + I^-)$ . Циркулярная поляризация определяется как  $P_\gamma = \delta / \epsilon$ , где  $\epsilon$  – поляризационная эффективность, равная при исследуемых энергиях  $\gamma$ -квантов  $\sim 5\%$ .

Основными проблемами при проведении этого эксперимента являются: устранение вклада  $\gamma$ -излучения активной зоны, которое благодаря тормозным  $\gamma$ -квантам от  $\beta$ -распада осколков деления урана в тепловыделяющих элементах имеет отрицательную поляризацию порядка  $10^{-3}$ , и компенсация флуктуаций мощности реактора, которые на частоте переключения поляриметра (1 Гц) составляют  $\sim 10^{-3}$ , в то время как статистические флуктуации числа  $\gamma$ -квантов, регистрируемых детектором, на 2 порядка меньше. Кроме того, обнаружение относительно большой ( $\sim 10^{-4}$ ) циркулярной поляризации  $\gamma$ -квантов в интегральном спектре  $n\gamma$ -реакции для ряда ядер <sup>7</sup> выдвинуло новое по сравнению с прежним экспериментом <sup>4</sup> требование – высокой чистоты конструкционных материалов водной полости и мишеней.

Для решения первой задачи водная полость экранировалась двух и трехслойным свинцовыми экранами, общей толщиной 60 и 80 мм.



1 – коллиматор, 2 – поглотитель, набранный из пластин железа „Армко” в виде ромба, 3 – катушки с током 200 А, 4 – коллиматор, разделяющий пучки, 5 – кристаллы CsJ(Tl), 6 – светопроводы, 7 – фотодиоды, 8 – холодильник

Для компенсации флуктуаций мощности реактора применен поляриметр, разделенный на две эквивалентные половины, расположенные симметрично относительно оси пучка и намагничиваемые в противоположных направлениях. Гамма-кванты, прошедшие через каждую половину поляриметра, детектируются отдельными сцинтилляционными детекторами на основе кристаллов CsJ (Tl). Кристаллы соединены светопроводами с кремниевыми фотодиодами, интегрированные токовые сигналы которых конвертируются в напряжение, усиливаются, и их переменные составляющие поступают на входы дифференциального усилителя, где один сигнал вычитается из другого. При этом синфазная часть сигналов, обусловленная флуктуациями мощности реактора, при правильном подборе коэффициентов усиления каналов устраняется, а полезный сигнал, обусловленный циркулярной поляризацией, складывается, так как две половины поляриметра намагничены в противоположных направлениях. Далее разностный сигнал накапливается на емкости аналогового интегратора (отдельно для двух направлений намагничивания), считывается цифровым вольтметром и направляется в два блока памяти ЭВМ. Медленный дрейф каналов устраняется с помощью низкочастотного коррелятора, на входы которого подаются сигналы одного из каналов, и дифференциального усилителя, а выход управляет регулируемым усилителем второго канала. Чувствительность установки вдвое больше, чем было в предыдущем эксперименте, и соответствует в измерениях с водой ошибке по поляризации  $\pm 1,3 \cdot 10^{-6}$  за сутки.

В контрольных экспериментах вода из полости вытесняется соответствующей мишенью. Для проверки вклада в эффект  $\gamma$ -квантов зоны использовалась мишень из графита, рассеивающие характеристики которого для  $\gamma$ -квантов близки к воде, а сечение  $n\gamma$ -реакции мало. Влияние быстрых нейтронов, рассеяние которых на материале мишеней и экранов может привести к их поляризации, а значит и к поляризации захватных  $\gamma$ -квантов, проверялось с мишенью из смеси порошка графита с бором-10. Такая мишень подавляет поток тепловых нейтронов в полости, относительно усиливая эффект на быстрых нейтронах, если он существует. Одновременно этот эксперимент является контрольным и в том смысле, что и предыдущий. Для „нулевого” контрольного опыта применялась, как и прежде, мишень из титана,  $\gamma$ -кванты которого, в основном мультипольностью  $E1$ , предполагались неполяризованными, хотя в свете данных работы <sup>7</sup> это не является очевидным. Возможный вклад в эффект от  $\gamma$ -квантов  $n\gamma$ -реакции на конструкционных материалах полости проверялся с мишенями из свинца и циркония и не был обнаружен. Другие контрольные опыты, как и подробное описание установок, приведены в <sup>8</sup>.

Измерения были начаты с двухслойным свинцовым экраном, защищающим водную полость, как это было в первом эксперименте <sup>4</sup>. Измерения с водной мишенью обнаружили эффект (см. верхнюю часть таблицы), соответствующий циркулярной поляризации  $P_\gamma = - (1,55 \pm \pm 0,25) \cdot 10^{-6}$  в полном соответствии с результатом, опубликованным в <sup>4</sup>. Однако контрольные эксперименты с графитовой и борной мишенями показывали наличие такого же (в пределах ошибки) эффекта, что могло свидетельствовать о его обусловленности подсветкой  $\gamma$ -квантов активной зоны. Был установлен дополнительный третий экран вокруг полости, состоящий из 30 алюминиевых труб диаметром 36 мм, залитых свинцом. Полученные результаты приведены в нижней части таблицы.

Мишени	Экспериментальный эффект, $\delta \times 10^7$			
	H <sub>2</sub> O	C	<sup>10</sup> B + C	Ti
Двухслойный Рb-экран водной полост ти	- 0,71 ± 0,25			
	- 1,06 ± 0,21			
	- 0,53 ± 0,22	- 1,18 ± 0,24	- 0,32 ± 0,26	- 0,085 ± 0,225
	- 0,63 ± 0,22	- 0,68 ± 0,24	- 0,62 ± 0,12	+ 0,18 ± 0,36
				- 0,29 ± 0,16
	- 0,74 ± 0,11 <sup>1)</sup>	- 0,93 ± 0,17 <sup>1)</sup>	- 0,57 ± 0,11 <sup>1)</sup>	- 0,12 ± 0,12 <sup>1)</sup>
Трехслойный Рb-экран водной полости	- 0,14 ± 0,25	- 0,37 ± 0,20	- 0,29 ± 0,33	- 0,34 ± 0,16
	- 0,68 ± 0,30		+ 0,15 ± 0,28	- 0,24 ± 0,15
	+ 0,015 ± 0,27		- 0,15 ± 0,15	
	+ 0,16 ± 0,22	- 0,17 ± 0,15	- 0,21 ± 0,14	
	+ 0,05 ± 0,23			+ 0,41 ± 0,15
	+ 0,28 ± 0,26	+ 0,03 ± 0,15		+ 0,68 ± 0,18
	- 0,015 ± 0,105 <sup>1)</sup>	- 0,13 ± 0,09 <sup>1)</sup>	- 0,15 ± 0,09 <sup>1)</sup>	+ 0,09 ± 0,08 <sup>1)</sup>

Примечание: знаком <sup>1)</sup> отмечены средне-взвешенные значения эффекта и средне-квадратичные ошибки циклов измерений.

Как видно из таблицы, эффект практически исчезает в измерениях с графитовой и борной мишенями, но он исчез и в основных измерениях — с водой в полости.

Выводы, которые могут быть сделаны из совокупности полученных данных, сводятся к следующему: 1) циркулярная поляризация  $\gamma$ -квантов в реакции  $np \rightarrow d\gamma$  не превышает

$5 \cdot 10^{-7}$  на уровне достоверности 95 %; 2) эффект, наблюдаемый в первом эксперименте <sup>4</sup>, скорее всего, был вызван остаточным проникновением  $\gamma$ -квантов активной зоны через экраны водной полости с последующим их перерассеянием в направлении входного окна поляриметра.

Что же касается нулевого результата ( $\delta = - (0,01 \pm 0,16) \cdot 10^7$ ), полученного в измерениях с графитовой мишенью в прошлом эксперименте, то причина его до конца не ясна. Можно лишь предположить, что он мог быть обусловлен наличием какой-нибудь неконтролируемой примеси (например, хлора), обладающей большим эффектом несохранения четности в  $n\gamma$ -реакции <sup>7</sup>, что привело к компенсации эффекта подсветки  $\gamma$ -квантов активной зоны.

Эксперименты продолжаются.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю признательность эксплуатационному персоналу реактора ВВР-М ЛИЯФ за многолетнее плодотворное сотрудничество.

#### Литература

1. Nagle D. et al. AIP Conf. Proc. 1978, 51, 224.
2. Bolzer R. et al. Phys. Rev. Lett., 1980, 44, 699.
3. Lockyer N. et al. Phys. Rev. Lett., 1980, 45, 182.
4. Lobashev V.M. et al. Nucl. Phys., 1972, A197, 241.
5. Avenier M. et al. Proc. of Neutrino 79, Bergen, June 18 – 22, 1979, 188.
6. Данилов Г.С. Ядерная физика, 1971, 14, 788.
7. Весна В.А., Коломенский Э.А., Лобашев В.М., Назаренко В.А., Пирожков А.Н., Смотрицкий Л.М., Соколов Ю.В., Титов Н.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 169.
8. Егоров А.И. и др. Препринт ЛИЯФ, № 835, 1983.

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

Поступила в редакцию  
16 мая 1983 г.