

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИММЕТРИИ ВЫЛЕТА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В РЕАКЦИЯХ ЗАХВАТА ТЕПЛОВЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ ${}^3\text{He}$ И ${}^{10}\text{B}$

*В.А.Весна²⁾, А.И.Егоров²⁾, Э.А.Коломенский²⁾, В.М.Лобашев^{1,2)},
А.Н.Пирожков²⁾, Л.М.Смотрицкий²⁾, Н.А.Титов¹⁾.*

В результате измерений, проведенных интегральной методикой, получены ограничения на величину P -нечетной асимметрии в реакциях ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ и ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$, обнаружена лево-правая асимметрия в реакции ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ с коэффициентом $a_{R-L} = (0,77 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$.

Настоящая работа является продолжением исследования эффектов нарушения пространственной четности в ядерных реакциях [1, 2]. В круг исследуемых процессов, кроме реакций с ${}^6\text{Li}$ и ${}^{10}\text{B}$, предложенных в [3], включена реакция ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$, представляющая интерес как малонуклонная система, для которой в отличие от тяжелых ядер возможны детальные теоретические расчеты. Кроме P -нечетной корреляции ($\vec{\sigma} \mathbf{p}$) исследовалась лево-правая асимметрия в направлении перпендикулярном спину и импульсу захватываемого нейтрона вида $\vec{\sigma}[\mathbf{p}_n, \mathbf{p}]$, где $\vec{\sigma}$, \mathbf{p}_n , \mathbf{p} — единичные вектора в направлении спина и импульса нейтрона, импульса легкого осколка.

Измерения проводились на пучке тепловых поляризованных нейтронов реактора ВВР-М ЛИЯФ им. Б.П.Константинова АН СССР интенсивностью $6 \cdot 10^7$ нейтрон/сек.

Процесс измерений состоял в следующем. Направление поляризации нейтронов относительно ведущего магнитного поля реверсировалось с помощью адиабатического радиочастотного флиппера. Детекторами, многонитяными пропорциональными камерами, работающими в интегральном режиме, регистрировалось соответствующее изменение тока, создаваемого легкими продуктами реакции вылетающими вдоль оси исследуемой асимметрии. Схема расположения детекторов изображена на рис. 1. Пучок нейтронов падает перпендикулярно плоскости рисунка. Поляризация направлена при исследовании P -нечетной асимметрии вдоль горизонтальной, а при исследовании лево-правой асимметрии — вдоль вертикальной оси. Регистрируется ионизация создаваемая в объеме, выделенном высоковольтными электродами. Тяжелые продукты реакции за счет меньшего пробега в газе, при соответствующем подборе давления, не регистрируются. При исследовании реакции ${}^{10}\text{B} + n$ чувствительный объем был дополнительно разделен на две части — внутреннюю и внешнюю так, что во внешней регистрировались только α -частицы линии α_0 . Для компенсации флуктуаций интенсивности нейтронного пучка применялся дифференциальный метод: в разности токов противоположно рас-

¹⁾Институт ядерных исследований АН СССР

²⁾Ленинградский институт ядерной физики АН СССР им. Б.П.Константинова

положенных детекторов сигнал асимметрии складывается, а флуктуации интенсивности вычитаются. Асимметрия A в индивидуальном измерении:

$$A = [(Q_L - Q_R)_1 - (Q_L - Q_R)_0] / [(Q_L + Q_R)_1 + (Q_L + Q_R)_0], \quad (1)$$

где Q_L, Q_R — заряд индуцированный на левом и правом сигнальном электродах за время измерения, индексы 1, 0 соответствуют состоянию включено-выключено радиочастотного поля флиппера.

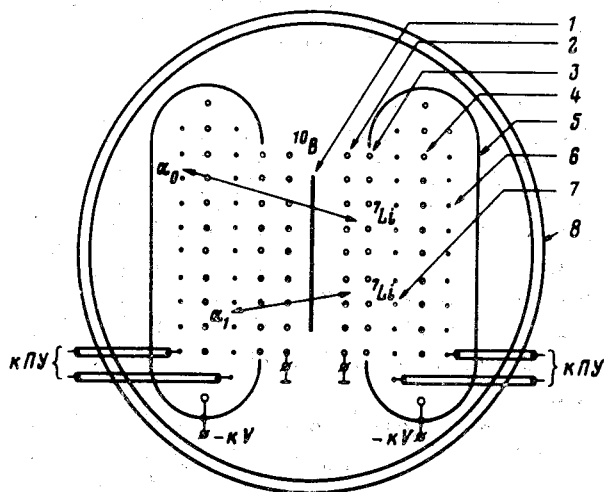


Рис. 1. Схема камеры: 1 — мишень ^{10}B ; 2 — заземленная сетка; 3 — 5 — высоковольтные сеточные и сплошные электроды; 6, 7 — сигнальные сетки внешнего (регистрация только линии α_0) и внутреннего (регистрация смеси α_0 и α_1) детекторов с выходами на предусилители (ПУ); 8 — корпус камеры

Благодаря компенсации флуктуаций интенсивности пучка среднеквадратичная ошибка измеряемой асимметрии была в сеансе с ^3He в три раза меньше, чем в случае простого усреднения результатов измерений по обим детекторам. Влияние флиппера на чувствительность детекторов исключалось тем, что после прохождения флиппера переключением постоянного магнитного поля поляризация нейтронов переводилась два раза в сутки в два взаимно противоположных направления ("поле + " и "поле - "). При этом искомый эффект изменял знак, в отличие от возможного ложного эффекта. Коэффициент асимметрии определялся следующим образом:

$$a = [A (\text{поле } +) - A (\text{поле } -)] / 2 P \overline{\cos \theta}, \quad (2)$$

где $P = 0,97$ — степень поляризации пучка, $\overline{\cos \theta}$ — фактор конечного размера детекторов.

При работе с ^3He мишенью служила часть объема рабочей смеси камеры $^3\text{He} + 2\% \text{CO}_2$, выделяемая самим пучком. Мишени ^{10}B представляли собой "сэндвич" $100 \text{ мкг/см}^2 \text{Ti} - 300 \div 400 \text{ мкг/см}^2 \text{B} - 100 \text{ мкг/см}^2 \text{Ti}$ (степень обогащения бора изотопом ^{10}B 83%). При исследовании реакции $^{10}\text{B} (n, \alpha)^7\text{Li}$ отличие от [1] состоит в том, что ранее измерялся суммарный эффект от двух линий α -частиц, связанных с образованием ядра отдачи ^7Li в основном (линия α_0) и первом возбужденном состоянии (линия α_1). Однако необходимо учитывать,

Реакция	Асимметрия	$A(\text{поле } +), 10^{-6}$	$A(\text{поле } -), \times 10^{-6}$	$\overline{\cos \theta}$	$a, \times 10^{-6}$
${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$	<i>P</i> -нечетная	$0,46 \pm 0,47$	$-0,06 \pm 0,46$	0,70	$0,38 \pm 0,49$
${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$	лево-правая	$-0,75 \pm 0,76$	$0,08 \pm 0,79$	0,70	$-0,34 \pm 0,57$
${}^{10}\text{B}(n, \alpha_0){}^7\text{Li}$	<i>P</i> -нечетная	$0,6 \pm 7,5$	$11,4 \pm 7,4$	0,96	$5,8 \pm 6,1$
${}^{10}\text{B}(n, \alpha_0){}^7\text{Li}$	лево-правая	см. рис. 2,а	—	$0,95 \pm 0,97$	77 ± 6
${}^{10}\text{B}(n, \alpha_1){}^7\text{Li}^*$	<i>P</i> -нечетная	$-0,66 \pm 1,35^1)$	$-1,05 \pm 1,34^1)$	0,90	$1,1 \pm 1,6^2)$
${}^{10}\text{B}(n, \alpha_1){}^7\text{Li}^*$	<i>P</i> -нечетная	$-0,66 \pm 1,35^1)$	$-1,05 \pm 1,34^1)$	0,88	$0,8 \pm 1,4^3)$
${}^{10}\text{B}(n, \alpha_1){}^7\text{Li}^*$	лево-правая	см. рис. 2,б	—	$0,88 \pm 0,92$	$-10,0 \pm 1,5^2)$
${}^{10}\text{B}(n, \alpha_1){}^7\text{Li}^*$	лево-правая	см. рис. 2,б	—	$0,84 \pm 0,90$	$-2,8 \pm 1,4^3)$

¹⁾Смесь линий α_0 и α_1

²⁾Вклад линии α_0 рассчитан для бесконечно толстой мишени.

³⁾Вклад линии α_0 рассчитан для бесконечно тонкой мишени.

что разные конечные состояния связаны, по-видимому, с разными захватными состояниями: линия α_1 с состоянием $7/2^+$, а линия α_0 в основном с состоянием $5/2^+$ [4]. При этом эффект нарушения четности может различаться для обеих линий, в частности, он может быть существенно больше на более слабой (6,7%) линии α_0^1 . В настоящей работе линия α_0 была выделена благодаря большому ($\approx 20\%$) пробегу соответствующих α -частиц и асимметрия была определена отдельно для линии α_0 и смеси α_0 и α_1 . Асимметрия на линии α_0 определялась во внешних детекторах (см. рис.1). На рис.2, а показано качество выделения линии

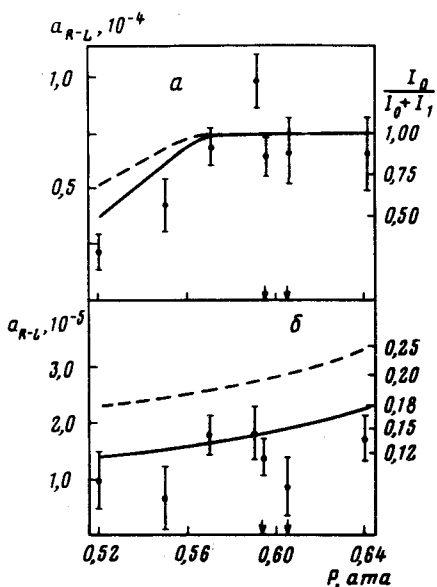


Рис. 2. Лево-правая асимметрия в реакции $n + {}^{10}\text{B}$ в зависимости от давления в камере: а – регистрируемая внешними детекторами, при $P > 0,57$ ата обусловлена только линией α_0 , б – асимметрия регистрируемая внутренними детекторами, определяется смесью линий $\alpha_0 + \alpha_1$. Сплошная линия – вклад эффекта на линии α_0 рассчитанный для бесконечно тонкой мишени, пунктир – то же для бесконечно толстой мишени, соответствующая доля тока линии α_1 отложена на правой вертикальной оси. Стрелками показаны давления при которых определялась P -нечетная асимметрия

α_0 : при уменьшении давления, только начиная с $p = 0,57$ ата, лево-правая асимметрия связанная с линией α_0 уменьшается из-за примеси более интенсивной линии α_1 . Величина лево-правой асимметрии определялась на линии α_0 при $p > 0,58$ ата, а P -нечетной при 0,60 ата. Внутренние детекторы регистрировали смесь линий α_0 и α_1 . Расчетная величина вклада обеих этих линий в ток детекторов зависит от пробега α -частиц в мишени, так как ее толщина в массовых единицах сравнима с толщиной газового промежутка между мишенью и детектором. Поскольку использованная мишень ${}^{10}\text{B}$ была неоднородна по толщине, то соотношение токов было рассчитано в двух предельных случаях: бесконечно толстой и бесконечно тонкой мишени (см. рис.2, б). В результате, полученные для линии α_1 данные могут служить только указанием на существование на ней лево-правой асимметрии другого знака на уровне 10^{-5} . Результаты измерений приведены в таблице. Измеренная в работе [1] величина коэффициента лево-правой асимметрии в реакции ${}^6\text{Li}(n, t){}^4\text{He}$ и аналогичные величины для реакции ${}^{10}\text{B}(n, \alpha_0){}^7\text{Li}$, полученные в данной работе, пропорциональны мнимой части отношения

¹⁾ На эту возможность нам указал Г.А.Лобов.

A_p/A_s , где $A_{s,p}$ — s и p — волновые амплитуды реакций. Действительная часть этого отношения, определяемая по асимметрии вперед-назад в этих реакциях, измерена в работе [5] при энергии нейтронов 2 и 24 кэВ. Сравнение этих результатов с учетом того, что доля интерференционного члена пропорциональна импульсу захватываемого нейтрона из-за соответствующего изменения нейтронных ширин, показывает, что мнимая часть A_p/A_s одного порядка с действительной в этих реакциях. Пределы, полученные на величину P -нечетной асимметрии в реакции $^{10}\text{B}(n, \alpha_0, 1) ^7\text{Li}$ $|a_0| < 1,6 \cdot 10^{-5}$ и $|a_1| < 3,8 \cdot 10^{-6}$ (90%-ный уровень достоверности) близки к простым оценкам сделанным в работе [3]. Дальнейшее увеличение точности экспериментов возможно при устранении ложных эффектов, связанных с лево-правой асимметрией, путем уменьшения энергии нейтронов или проведения измерений с пучком продольно поляризованных нейтронов. Предел на P -нечетную асимметрию в реакции $^3\text{He}(n, p) ^3\text{H}$ достаточно низок: $|a| < 1,2 \cdot 10^{-6}$ (90%-ный уровень достоверности), но следует учесть подавление по крайней мере на порядок из-за малости захвата в состоянии 1^+ (основное захватное состояние 0^+ не дает поляризации компаунд-ядра).

В заключение авторы выражают благодарность персоналу реактора ВВР-М и ИРЦ ЛНИ ЛИЯФ за обеспечение проведения измерений, Н.В.Боровиковой за изготовление фольг Ti, В.А.Князькову и А.И.Шаблюю за участие в создании электронной аппаратуры, В.А.Сергееву за ценные обсуждения, а также Е.С.Ржевскому, познакомившему нас с результатами своих расчетов P -четных эффектов в реакции $n + ^{10}\text{B}$.

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

Поступила в редакцию
14 марта 1981 г.

Литература

- [1] Н.В.Боровикова, В.А.Весна, А.И.Егоров, В.А.Князьков, Э.А.Коломенский, В.М.Лобашев, А.Н. Пирожков, Л.А.Попеко, Л.М.Смотрицкий, Н.А.Титов, А.И.Шаблий. Письма в ЖЭТФ, **30**, 527, 1979.
- [2] В.А.Весна, В.А.Князьков, Э.А.Коломенский, В.М.Лобашев, А.Н.Пирожков, Л.А.Попеко, Л.М.Смотрицкий, С.М.Соловьев, Н.А.Титов. Письма в ЖЭТФ, **31**, 704, 1980.
- [3] Г.А.Лобов, Г.В.Данилян. Изв. Ан СССР, сер. физ., **41**, 1548, 1977.
- [4] F.Ajzenberg-Selove. Nuclear Physics, **A336**, 22, 1980.
- [5] M.L.Stelts et. al. Phys.Rev., **C19**, 1159, 1979.