

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ НАРУШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ В РЕАКЦИЯХ ЗАХВАТА ТЕПЛОВЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ С ВЫЛЕТОМ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

*Н.В.Боровикова¹, В.А.Весна¹, А.И.Егоров¹,
В.А.Князьков¹, А.Коломенский¹, В.М.Лобашев^{1,2},
А.Н.Пирожков¹, Л.А.Попеко¹, Л.М.Смотрицкий¹,
Н.А.Титов², А.И.Шаблій¹*

Интегральной методикой измерена величина коэффициента P -нечетной асимметрии вылета осколков в делении ^{235}U при захвате тепловых поляризованных нейтронов. Коэффициент асимметрии равен $(0,84 \pm 0,06) \times 10^{-4}$. Получены ограничения на P -нечетную асимметрию в реакциях $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}: |a| < 0,5 \cdot 10^{-5}$ и $^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}: |a| < 1,0 \cdot 10^{-5}$ (уровень достоверности 90%). Обнаружена право-левая асимметрия в реакции $^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$, коэффициент асимметрии равен $(0,95 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$.

Одним из проявлений слабого нуклон-нуклонного взаимодействия является асимметрия вылета заряженной частицы относительно спина, захватываемого ядром поляризованного теплового нейтрона.

Трудностью подобного эксперимента является необходимость обеспечить статистическую точность измерений на уровне $10^{-5} - 10^{-7}$. При постановке опыта обычным счетным методом возможности увеличения скорости счета ограничены. Снять ограничение можно используя разницу в пробегах легких и тяжелых продуктов реакции. Подбирая давление газа между мишенью и детектором, можно добиться регистрации только легкого осколка. (Поэтому можно применить интегральную методику регистрации, разработанную ранее в ЛИЯФ для измерения циркулярной поляризации γ -квантов, излучаемых неполяризованными ядрами [1].)

¹)ЛИЯФ АН СССР.

²)ИЯИ АН СССР.

Измерения проводились на пучке тепловых поляризованных нейтронов реактора ВВР-М ЛИЯФ им. Б.П.Константинова интенсивностью $6 \cdot 10^7$ нейтрон/сек [2].

Для изменения поляризации нейтронов относительно ведущего поля применялся быстрый флиппер, использующий адиабатический переворот спина нейтрона в скрещенных постоянном и переменном магнитных полях [3].

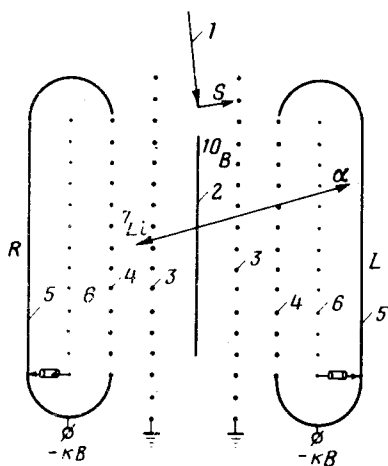


Схема детектирования продуктов реакции: R и L — правый и левый пропорциональные счетчики, 1 — пучок нейтронов, 2 — мишень, 3 — заземленный потенциальный проволочный электрод; 4, 5 — проволочный и сплошной потенциальные электроды с высоким потенциалом, 6 — многонитяной сигнальный электрод с низким потенциалом относительно корпуса камеры

В качестве детектора используются многонитяные пропорциональные счетчики, показанные на рисунке. Пучок нейтронов падает на мишень, расположенную вдоль по пучку в общем со счетчиками корпусе. В случае исследования P -нечетной асимметрии нейтроны поляризованы в плоскости рисунка перпендикулярно оси пучка. Давление газа выбирается таким, что только легкие продукты реакции достигают объема выделенного проволочным 4 и сплошным 5 электродами. Экранирующее действие сетки 4 обеспечивает нечувствительность счетчиков к ионизации, выделенной вне объема между электродами 4 и 5.

Ток детекторов преобразуется в напряжение, усиливается и поступает на дифференциальный усилитель (искомый эффект имеет противоположный знак в обоих детекторах). Результирующий сигнал интегрируется в течение секундных интервалов, в конце каждого цикла интегрирования выходное напряжение интегратора преобразуется в цифровой код и накапливается.

Для нанесения мишеней в качестве подложек использовались фольги титана. Поверхность мишени закрывалась второй фольгой с целью выравнивания спектров частиц в обеих половинках камеры. В измерениях с оксидом урана U_3O_8 использовался стандартный урановый конвертор.

Переворот спина нейтрона относительно направления ведущего поля осуществляется высокочастотным флиппером с периодом 4 секунды. Направление спина нейтрона (вместе с ведущим полем) периодически реверсировалось (примерно через 24 часа). Знак искомого эффекта, связанного с поляризацией нейтронов, таким образом менялся в зависимости от направления ведущего поля на камере, что позволяло устранить возможные систематические эффекты. Измеряемый эффект мож-

но представить следующим образом:

$$a = \frac{(I_L - I_R)_1 - (I_L - I_R)_2}{(I_L - I_R)_1 + (I_L - I_R)_2}, \quad (1)$$

где I_L и I_R — токи соответственно, левого и правого счетчика, индексы 1, 2 отвечают состоянию флиппер выключен (спин нейтрона направлен по ведущему полю) и флиппер включен (спин нейтрона против поля).

Измеряемая асимметрия связана с P -нечетным членом в угловом распределении продуктов реакции:

$$w \sim (1 + a \vec{\sigma} \cdot \vec{p}_d), \quad (2)$$

где $\vec{\sigma}$, \vec{p}_d — единичные векторы в направлении спина нейтрона и импульса легкого осколка.

Переход от a к a проводится с учетом поляризации пучка $P = 97\%$ и зависимости выделяемой в детекторе энергии от угла между $\vec{\sigma}$ и \vec{p}_d . Результаты измерений приведены в табл. 1, где a^+ — асимметрия, ведущее поле от правого к левому детектору; a^- — асимметрия, ведущее поле от левого детектора к правому; $\bar{a} = (a^+ - a^-)/2$ — среднее значение асимметрии; $(\vec{\sigma} \cdot \vec{p}_d)$ — средний косинус угла между σ и p_d ; $a = \bar{a}/P(\vec{\sigma} \cdot \vec{p}_d)$ — коэффициент асимметрии.

Для ^{10}B в асимметрию a вклад дают два члена, соответствующие переходу на основное, a_0 , и первое возбужденное, a_1 , состояния: $a = a_1 + \epsilon a_0$, где ϵ по расчетным данным составляет 0,07.

Среднее значение коэффициента асимметрии в делении ^{235}U равно $(0,84 \pm 0,06) \cdot 10^{-4}$, что примерно в два раза меньше величины, полученной в работе [4]. Причины расхождения пока неясны.

Вклад β -частиц от распада осколков деления, остановившихся в толстой подложке, составляет несколько процентов от тока детекторов и отсутствие асимметрии, связанной с ним, было проверено в специальном опыте с повышенным давлением, при котором осколки и α -частицы не регистрировались детекторами. В одной серии измерений с мишенью UF_4 присутствовала наводка на источник высоковольтного питания камеры, давшая ложный эффект. Измерения при разных направлениях ведущего поля полностью этот эффект устраняют.

Рабочая точка по давлению в камере в опытах с делением ^{235}U выбиралась по исчезновению временных совпадений срабатываний счетчиков при работе в импульсном режиме. В табл. 2 приведены результаты измерения зависимости величины P -нечетного эффекта от давления в камере.

Были проведены измерения с ведущим полем, повернутым на 90° по отношению к выделяемым направлениям вылета частиц. В реакции $^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$ обнаружена лево-правая асимметрия, соответствующая корреляции

$$w \sim \{1 + b \vec{\sigma}[\vec{p}_n, \vec{p}_d]\}, \quad (3)$$

Реакция	Мишень, мг/см ²	$\alpha^+, \cdot 10^{+5}$	$\alpha^-, \cdot 10^{+5}$	$\bar{\alpha}, \cdot 10^{+5}$	$\overline{(\sigma p_L)}$	$\alpha, \cdot 10^5$
$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$	0,1Ti -- 0,25В -- 0,1Ti	- 0,27 ± 0,21	- 0,11 ± 0,21	- 0,08 ± 0,15	0,62	0,13 ± 0,24
$^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$	0,2Ti -- 1Li -- 0,2Ti	0,33 ± 0,38	0,72 ± 0,55	- 0,20 ± 0,33	0,75	- 0,27 ± 0,45
$^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}^*$	" --	---	- 0,60 ± 0,63	0,60 ± 0,63**	0,75	0,82 ± 0,87*
$^{235}\text{U}(n, f)$ (в виде U_3O_8)	0,35U -- 50Al -- 0,35U	6,6 ± 0,8	---	---	0,89	8,5 ± 2,0
$^{235}\text{U}(n, f)^*$ (в виде U_3O_8)*	" --	- 0,5 ± 1,5	---	---	0,89	---
$^{235}\text{U}(\beta\text{-распад осколков})$	" --	0,4 ± 0,7	---	---	---	---
$^{235}\text{U}(n, f)$ (в виде UF_4)	0,25Ti -- 0,5U -- 0,2Ti	10,4 ± 1,2	- 4,0 ± 1,0	7,2 ± 0,8	0,90	8,2 ± 0,9
$^{235}\text{U}(n, f)^*$ (в виде UF_4)	" --	1,3 ± 1,1	- 0,4 ± 1,4	0,6 ± 0,9**	0,90	0,7 ± 1,0*
$^{235}\text{U}(n, f)$ (в виде UF_4)	" --	8,4 ± 1,2	- 6,8 ± 1,3	7,6 ± 0,9	0,90	8,7 ± 1,0
$^{235}\text{U}(n, f)^*$ (в виде UF_4)	" --	- 1,9 ± 2,2	- 0,3 ± 1,8	- 0,9 ± 1,4**	0,90	- 1,1 ± 1,6*

* Пучок деполаризован.

** Среднее значение α^+ и α^- .

*** Учтена величина асимметрии на деполаризованном пучке (5-я строка).

где p_n — единичный вектор в направлении импульса налетающего нейтрона. Результаты измерений с мишенями ^{10}B , ^6Li приведены в табл. 3. Существование асимметрии в реакции на ^6Li по-видимому связано с интерференцией S- и p-состояний в системе $^6\text{Li} + n$.

Т а б л и ц а 2

	Давление смеси, ата		
	0,55	0,45	0,30
Отношение скорости счета тяжелых осколков к скорости счета легких, %	8	20	90
P-нечетная асимметрия, $\alpha^+ \cdot 10^{+5}$	$6,6 \pm 0,8$	$4,7 \pm 1,7$	$3,0 \pm 1,0$
P-нечетная асимметрия на деполяризованном пучке, $\alpha^+ \cdot 10^{+5}$	$-0,5 \pm 1,5$	$+0,7 \pm 2,0$	—

Т а б л и ц а 3

	Реакция		
	$^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$	$^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}^*$	$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$
Право-левая асимметрия, ведущее поле вверх, $\alpha^+ \cdot 10^{+5}$	$7,1 \pm 0,3$	$-1,1 \pm 0,8$	$-0,22 \pm 0,28$
Право-левая асимметрия, ведущее поле вниз, $\alpha^- \cdot 10^{+5}$	$-6,6 \pm 0,5$	—	$-0,72 \pm 0,69$
Среднее значение асимметрии $\bar{\alpha} = (\alpha^+ - \alpha^-) / 2 \cdot 10^{+5}$	$6,9 \pm 0,3$	$-1,1 \pm 0,8$	$-0,25 \pm 0,37$
Среднее значение косинуса угла $p_d[\sigma p_n]$, $\cos \theta$	0,75	0,75	0,62
Коэффициент право-левой асимметрии, $B = \frac{\bar{\alpha}}{P \cos \theta} \cdot 10^{+5}$	$9,5 \pm 0,4$	$-1,5 \pm 1,1^*$	$-0,40 \pm 0,60$

* Пучок деполяризован.

Таким образом, для реакций $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ и $^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$ установлены пределы на величину P-нечетной асимметрии вылета легкого фрагмента $|a| < 0,05 \cdot 10^{-5}$ и $|a| < 1 \cdot 10^{-5}$, соответственно (на 90%-ном уровне досто-

верности). Для реакции деления ^{235}U тепловыми нейтронами подтверждается существование P -нечетной асимметрии, обнаруженной ранее в работе [4]. Лево-правая асимметрия в реакции $^6\text{Li}(n, t)^4\text{He}$ ограничивает возможную точность измерения P -нечетной асимметрии, однако может оказаться полезной для анализа реакций в системе $^6\text{Li} + n$.

В заключение авторы выражают благодарность персоналу реактора ВВР-М, Н.С.Тихомирову за быстрое выполнение работ по изготовлению установки, Б.М.Овчинникову и А.С.Барабашу за очистку газов для рабочих смесей камеры, Б.Е.Штерну за ценные замечания по постановке опытов.

Поступила в редакцию
17 августа 1979 г.

Литература

- [1] В.М. Лобашев, В.А.Назаренко, Л.Ф.Саенко, Л.М.Смотрицкий, Г.И.Харкевич. Письма в ЖЭТФ, 3, 268, 1966.
 - [2] Э.А.Коломенский, В.Б.Копелиович, В.М.Лобашев, В.А.Назаренко, А.И.Огороков, А.Н.Пирожков, Л.М.Смотрицкий, Г.И.Харкевич, А.Ф.Щебетов. ЯФ, 25, 233, 1977.
 - [3] А.И.Егоров, В.М.Лобашев, В.А.Назаренко, Г.Д.Порсев, А.П.Серебров. ЯФ, 19, 300, 1974.
 - [4] Г.В.Данилян, Б.Д.Воденников, В.П.Дроняев, В.В.Новицкий, В.С.Павлов, С.П.Боровлев. ЯФ, 27, 42, 1978.
-