

ПОИСК ЭФФЕКТОВ НАРУШЕНИЯ ЧЕТНОСТИ В ПОЛНОМ СЕЧЕНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ УРАНА-233

Л.Н.Бондаренко, С.В.Жуков, В.Л.Кузнецов

Измерена величина слабой поляризации пучка тепловых нейтронов, которая возникает за счет нарушения четности в полном нейтронном сечении из-за зависимости сечения от спиральности падающих нейтронов при взаимодействии с ядрами урана-233. Полученная отсюда величина асимметрии полного сечения $(-0,9 \pm 1,1) \cdot 10^{-7}$ не подтверждает теоретических предсказаний этой величины. Приводится пример интерпретации экспериментальных данных с помощью известных резонансов.

При измерении зависимости P -нечетной асимметрии разлета осколков деления урана-233 от энергии поляризованных нейтронов вблизи нейтронного резонанса $0,17 \text{ эВ}^{-1}$ было обнаружено изменение знака асимметрии при переходе энергии нейтронов через резонанс. В соответствии с работой ² резонанс $0,17 \text{ эВ}$ был идентифицирован как p -волновой и была сделана оценка величины слабого нуклон-ядерного матричного элемента. Оценка величины P -нечетной асимметрии в полном сечении нейтрон-ядерного взаимодействия, использующая эти результаты и формулы двухуровневого приближения ^{2, 3} для нейтронов тепловой энергии, дала значение асимметрии около $5 \cdot 10^{-5}$.

Экспериментальная проверка этой оценки показала ^{4, 5}, что асимметрия меньше, чем $1,4 \cdot 10^{-6}$.

В работе ⁶ был выполнен более аккуратный анализ P -четных и P -нечетных асимметрий, возникающих при взаимодействии нейтронов с ядрами урана-233, и для тепловых нейтронов была предсказана величина асимметрии в полном сечении около $5 \cdot 10^{-7}$. Результаты работ ^{1, 4, 5} объяснялись там существованием очень слабого p -резонанса в нейтронном сечении при энергии нейтронов 0,2 ... 0,4 эВ, имеющего ширину порядка 10^{-11} эВ; при этом резонанс 0,17 эВ интерпретировался как слабый s -волновой резонанс. Аналогичная интерпретация приведена и в работе ⁷.

Последующий поиск P -нечетной асимметрии в полном сечении в окрестностях резонанса 0,17 эВ в работах ⁸⁻¹¹ для урана-233 дал возможность лишь поставить верхний предел на величину такой асимметрии: в области энергии нейтронов 0,12...0,23 эВ $\mathcal{P} = \frac{(\sigma^+ - \sigma^-)}{(\sigma^+ + \sigma^-)} = (3,0 \pm 2,6) \cdot 10^{-6}$ ¹⁰.

Нами были выполнены измерения P -нечетной асимметрии в полном нейтронном сечении для урана-233 в тепловой области энергий нейтронов методом определения слабой поляризации нейтронов, возникающей за счет нарушающего четность нейтроно-оптического дихроизма мишени, с помощью широкоапертурного поляриметра ¹².

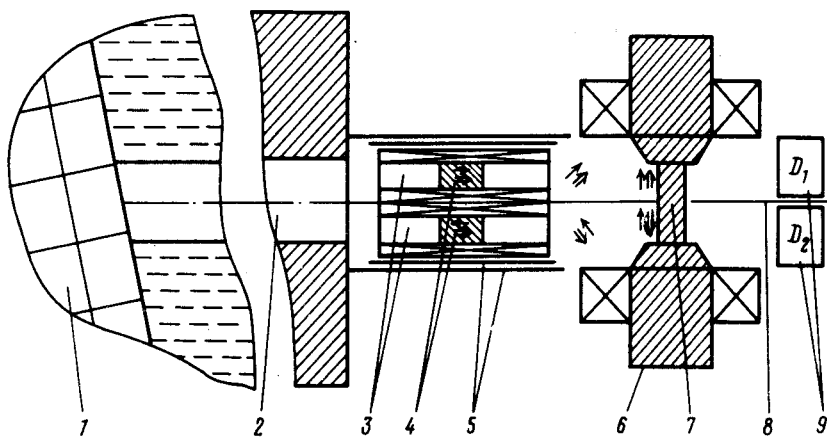


Схема установки для измерения поляризации нейтронов, возникающей за счет P -нечетного дихроизма исследуемого образца: 1 - активная зона реактора, 2 - горизонтальный экспериментальный канал, 3 - соленоиды, 4 - исследуемые образцы, 5 - магнитные экраны, 6 - магнитный анализатор, 7 - анализатор - железная пластина, 8 - кадмиевая перегородка, 9 - детекторы нейтронов, тонкая стрелка - направление магнитного поля, двойная стрелка - направление спина нейтронов

Эксперимент выполнен на прямом пучке из зоны реактора ИР8 ИАЭ им. И.В.Курчатова. Плотность потока тепловых нейтронов на срезе биологической защиты реактора составила $3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Схема установки представлена на рис. 1. Два одинаковых исследуемых образца (см. рис. 1) помещались в одинаковые соленоиды, причем поле одного из них было направлено по импульсу, а другого - против импульса нейтрона. В промежутке между соленоидами и анализатором осуществлялся адиабатический поворот спинов нейтрона из продольной поляризации в поперечную, так что пучки из каждого солеоида проходили поляриметр, имея противоположную поляризацию $P = \mathcal{P}l$. Затем пучки нейтронов регистрировались двумя отдельными детекторами. (Здесь l - толщина образцов в единицах свободного пробега нейтронов).

Для исключения флуктуаций мощности реактора использовался интегрально-компенсационный метод измерений. Разностный ток от обоих детекторов был пропорционален удвоенному P -нечетному эффекту каждого из них $2P_n P_A$ (P_A - анализирующая способность

поляриметра), а флуктуации мощности реактора в нем были подавлены до уровня статистических флуктуаций нейтронных потоков.

В качестве детекторов нейтронов использовались сборки из стандартных счетчиков СНМ-17; эффективность регистрации сборки была около 90%. Образцы из закиси-оксида урана-233 массой 20 г. каждый были упакованы в герметические контейнеры с поперечным сечением $35 \times 45 \text{ мм}^2$. Толщина каждого из образцов была измерена и составляла 1,83 в единицах свободного пробега нейтронов. В качестве поляриметра использовалось намагниченное до насыщения железо; анализирующая способность P_A , измеренная методом однократного прохождения, была равна $0,36 \pm 0,02$ ¹².

Среднее за 1 с напряжение, обусловленное разностным током детекторов на нагрузочном сопротивлении, измерялось высокостабильным вольтметром В7-18, включенным в линию с ЭВМ Э-60, и запоминалось как величина U_i^+ . Затем происходил реверс поля соленоидов и измерялось аналогичное значение напряжения U_i^- . Средняя поляризация нейтронного пучка P_n за полное время измерений определялась как

$$P_n = \frac{\sum^N (U_i^+ - U_i^-)}{4P_A NU}, \quad (1)$$

где N — полное число измерений, U — напряжение, обусловленное током одного из детекторов. Для устранения в линейном приближении ошибки, вызванной возможным дрейфом нуля ¹³, реверс поля соленоидов, эквивалентный реверсу спина нейтронов, осуществлялся по закону $+-+ +, -++ -, -++ -, +--- +$ и т. д. Для устранения влияния возможных электрических наводок раз в сутки производилось механическое переключение поля соленоидов, эквивалентное реверсированию магнитного поля на мишени ⁵.

Результаты измерения слабой поляризации нейтронного пучка, возникающей за счет слабого взаимодействия нейтронов с ядрами ²³³U и KBr, и соответствующая ей асимметрия полного нейтронного сечения. Измерения аппаратурного нуля выполнены с нейтронами с энергией более 0,5 эВ

Образец	$n \sigma$	$P \cdot 10^7$	$\mathcal{P} \cdot 10^7$
KBr	1,74	174 ± 7	100 ± 4
KBr	0,083	$10,8 \pm 1,2$	130 ± 15
серия 1			
²³³ U + "0"	1,83	$4,99 \pm 2,69$	$2,73 \pm 1,47$
"0"	1,83	$8,67 \pm 1,26$	$4,74 \pm 0,69$
²³³ U		$-3,68 \pm 2,96$	$-2,01 \pm 1,62$
серия 2			
²³³ U + "0"	1,83	$1,06 \pm 2,16$	$0,58 \pm 1,18$
"0"	1,83	$0,89 \pm 1,66$	$0,49 \pm 0,97$
²³³ U		$0,16 \pm 2,73$	$0,09 \pm 1,49$
среднее чистое ²³³ U			$-0,9 \pm 1,1$

С целью калибровки и проверки чувствительности аппаратуры в целом были выполнены измерения слабой поляризации пучка нейтронов после прохождения мишени из KBr толщиной в 1,74 и 0,083 длины свободного пробега нейтронов, см. таблицу. Измерение аппаратурной асимметрии проводились на пучке нейтронов, перекрытом толстой кадмиевой пласти-

ной (1 мм), т. е. для нейтронов с энергией более 0,5 эВ, для которых анализирующая способность насыщенного железа равна практически нулю.

Результаты измерений и пересчета поляризации нейтронного пучка в асимметрию полного сечения $\mathcal{P} = (\sigma^+ - \sigma^-) / (\sigma^+ + \sigma^-)$ представлены в таблице. Для урана-233 было выполнено две серии измерений. Обнаруженная в 1 серии приборная асимметрия P -нечетного характера оказалась связанной с асимметрией наводки, зависящей от знака тока соленоидов, и была в дальнейших измерениях устранена. Окончательный результат по двум сериям равен

$$({}^{233}\text{U}) = (-0,9 \pm 1,1) \cdot 10^{-7},$$

что не подтверждает предсказаний работы ⁶.

Используя оценку величины матричного элемента слабого взаимодействия из работы ¹ $\langle p | H_w | s \rangle = 3 \cdot 10^{-4}$, наши ограничения на величину $\mathcal{P} \leq 2 \cdot 10^{-7}$ и характерные параметры резонансов из ¹⁴, получаем из выражения для \mathcal{P} ^{2, 3, 6}: $\Gamma_p^{n_{1/2}} \leq 3 \cdot 10^{-13}$ эВ. Тогда в формулах (10) и (12) работы ⁶ следует пренебречь членами, содержащими амплитуды V_{J-k} (1/2). В этом случае величина тройной корреляции для p -резонанса с $J^\pi = 2^-$ равна:

$$a^{rl} = \frac{\text{Im} \left\{ V_{2-1}^* \left(\frac{3}{2} \right) [0,5 V_{3+1} - 0,625] \right\}}{|V_{2+0}|^2 + |V_{2+1}|^2 + |V_{3+1}|^2} \quad (2)$$

и, соответственно, для резонанса 3^- :

$$a^{rl} = \frac{\text{Im} \left\{ -0,9 V_{3-0}^* \left(\frac{3}{2} \right) V_{2+0} - V_{3-1}^* \left(\frac{3}{2} \right) (0,85 V_{2+1} + 0,38 V_{3+1}) \right\}}{|V_{2+0}|^2 + |V_{2+1}|^2 + |V_{3+1}|^2} \quad (3)$$

Здесь $V_{J-k} (3/2)$ — амплитуда деления, с захватом p -волновых нейтронов с моментом $j = l + s = 3/2$, а V_{J+k} — амплитуды деления с захватом s -волновых нейтронов, просуммированные по всем резонансам с квантовыми числами $J+k$. По этим формулам можно получить величину тройной корреляции, совпадающую с экспериментальной $2 \cdot 10^{-3}$, если между амплитудами 2^+0 , 2^+1 и 3^+1 существует необходимая компенсация. Например, резонанс с энергией 0,17 эВ может быть интерпретирован как p -волновый с $2g_1^{n_{3/2}} = 2 \cdot 10^{-7}$ эВ, если первые нейтронные резонансы ¹⁴ для ${}^{233}\text{U}$ имеют следующие квантовые числа:

E_n (эВ)	— 2,81	0,17	1,55	1,79	2,29	3,66	4,76	5,89	6,42	6,82	9,26	9,28
$J+k$	2^+0	2^-1	3^+1	2^+1	3^+1	3^+1	2^+1	3^+1	2^+1	2^+1	3^+1	2^+1

При этом величина a^{rl} равна $1,7 \cdot 10^{-3}$ в хорошем согласии с экспериментом. Правильность приведенной выше интерпретации резонанса с энергией 0,17 эВ требует дальнейших исследований.

В заключение авторы выражают свою благодарность С.Т.Беляеву за поддержку работы, Д.П.Гречухину, А.Л.Барабанову, Г.А.Лобову и О.П.Сушкову за плодотворные обсуждения, И.В.Матвееву, С.П.Пугачеву, В.М.Семочкину, Г.И.Устророву и И.К.Швецову за помощь в работе и коллективу реактора ИР-8 ИАЭ им. И.В.Курчатова за обеспечение работы реактора в необходимом для настоящей работы режиме.

Литература

1. Вальский Г.В., Большакова В.А., Звездина Т.К. и др. Препринт ЛИЯФ, № 796, 1982 г.
2. Бунаков В.Е., Гудков В.П. Препринт ЛИЯФ № 763, 1982 г.; Nucl. Phys., 1983, A401, 93.
3. Сушков О.П., Фламбаум В.В. УФН, 1982, 136, 3.
4. Весна В.А., Коломенский Э.А., Корнюшкин А.Ф. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 410.
5. Беда А.Г., Бондаренко Л.Н., Воденников Б.Д. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 141.

6. Сушков О.П., Фламбаум В.В. Препринт ИЯФ СО АН СССР № 83-31, 1983 г.
7. Ржевский Е.С. Препринт ИТЭФ № 7, 1984 г.
8. Александрович А.Я., Вальский Г.В., Николаев Д.В. и др. Препринт ЛИЯФ № 890, 1983 г.
9. Беда А.Г., Воденников Б.Д., Данилян Г.В. и др. Препринт ИТЭФ-132, 1984 г.
10. Александрович А.Я., Вальский Г.В., Николаев Д.В. и др. Препринт, ЛИЯФ № 1057, 1985 г.
11. Александрович А.Я., Вальский Г.В., Николаев Д.В. и др. Препринт ЛИЯФ-1136, 1985 г.
12. Кузнецов В.Л. Препринт ИАЭ-4057/2, 1984 г.
13. Бондаренко Л.Н., Жуков С.В., Кузнецов В.Л., Матвеев И.В. ЯФ, 1986, 44, в.5.
14. Neutron Cross-Section. BNL-325, 1973.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
2 марта 1987 г.