

Д.Б. Бериков^{1,4}, Ю.Н. Копач¹, В.В. Новицкий^{1,2}, Г.С. Ахмадов^{1,7},
 А.М. Гагарский³, К.Ш. Жумадилов⁴, Г.В. Данилян^{1,2},
 В. Хутану⁵, Й. Кленке⁶, С. Масалович⁶

¹Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980 Дубна, Россия

²Институт теоретической и экспериментальной физики Национального
 исследовательского центра “Курчатовский институт” 117218 Москва, Россия

³Петербургский институт ядерной физики Национального исследовательского центра
 “Курчатовский институт”, 188300 Гатчина, Россия

⁴Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева,
 010000Нур-Султан, Казахстан

⁵RWTH Ахенский университет и JCNS Юлихский исследовательский центр,
 85748 Гархинг, Германия

⁶Исследовательский нейтронный источник Хайнц Майер-Лейбниц,
 D-85747 Гархинг, Германия

⁷Национальный центр ядерных исследований, Баку, Азербайджан
 (E-mail: ^{1,4}daniyar.berikov@gmail.com)

ЭФФЕКТ ВРАЩЕНИЯ ДЕЛЯЩЕГОСЯ ЯДРА В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ И γ -КВАНТОВ ДЕЛЕНИЯ ^{235}U В РЕЗОНАНСЕ 0.3 ЭВ НА ГОРЯЧЕМ ИСТОЧНИКЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ

Аннотация. Т-нечетные угловые корреляции в тройном ядерном делении (TRI и ROT асимметрии) исследовались с целью поиска нарушений временной инвариантности в нейтронно-ядерных взаимодействиях. Отличный от нуля Т-нечетный эффект был обнаружен в эксперименте по измерению асимметрии при испускании легких заряженных частиц в тройном делении ^{233}U (TRI-эффект), выполненном на высокопоточном ядерном реакторе ILL в Гренобле коллаборацией российских и европейских институтов. Как оказалось, эффект не связан с нарушением Т-инвариантности, а может быть объяснен сложным механизмом процесса деления. Позднее ROT эффект наблюдался при испускании мгновенных гамма-квантов и нейтронов в делении ^{235}U и ^{233}U , хотя его величина была на порядок меньше, чем при испускании α -частиц в тройном делении. Все эксперименты, которые были поставлены ранее, выполнены с холодными поляризованными нейтронами, что предполагает смесь нескольких спиновых состояний компаунд ядра, относительные вклады которых недостаточно хорошо известны.

В настоящей работе представлен результат первых экспериментов по измерению ROT-эффекта в делении ^{235}U горячими поляризованными нейтронами на установке POLI реактора FRM2 в Гархинге с энергиями нейтронов 0.3 эВ. Данная энергия соответствует положению первого изолированного резонанса ^{235}U .

Ключевые слова: Т-нечетные эффекты в делении ядер, ROT-эффект для γ -квантов и нейтронов.

Введение

Поиски Т-нечетных асимметрий в угловых распределениях продуктов тройного деления тяжелых ядер холодными поляризованными нейтронами были начаты в последние годы 20-го века [1-2] с надеждой на обнаружение при анализе этих асимметрий эффектов нарушения Т-инвариантности в процессах деления ядер,

следуя идее, предложенной в [3]. Хотя эта надежда не была реализована, поскольку существование этой асимметрий не мог быть неоспоримым доказательством нарушения временной инвариантности из-за существенного влияния взаимодействия между продуктами деления в конечных состояниях и из-за интерференции амплитуд реакции, относящихся к соседним компа-

унд-состояниям. Итогом указанных поисков к настоящему времени явилось обнаружение Т-нечетных асимметрий TRI- и ROT- типов в тройном делении ряда ядер актинодов с вылетом в качестве третьих частиц как заряженных частиц – α -частиц и тритонов, так и нейтральных частиц – нейтронов и γ -квантов [4-9]. Оба эффекта, TRI и ROT-эффект, формально Т-нечетны, но не имеют прямой связи с нарушением инвариантности относительно обращения времени.

В настоящее время существуют несколько теоретических моделей, которые могут описывать оба эффекта [10-15]. Согласно модели, предложенной в [15], оба эффекта зависят от квантовых чисел J и K, которые характеризуют каналы деления. Для индуцированного деления тепловыми (или холодными) нейтронами (где все предыдущие данные получены) имеются смесь нескольких спиновых состояний, и вклад этих состояний неизвестны. Единственный способ получить «чистые» данные - выполнить измерения в изолированных резонансах. Такой эксперимент проводился на установке POLI реактора FRM2 в Гархинге (Германия), которая обеспечивает необходимый поляризованный монохроматический пучок нейтронов с энергией 0.3 эВ, соответствующий положению первого изолированного резонанса ^{235}U . В этой статье представлены первые результаты данного эксперимента.

Эксперимент

Использован поляризованный пучок горячих нейтронов, обеспечиваемый установкой POLI [16] на реакторе FRM-II. Схематическое изображение экспериментальной установки показано на рисунке 1. Монохроматор, выполненный из мозаики кристаллов Si, использовался для выделения узкого пучка нейтронов со средней энергией 0.3 эВ ($\lambda = 0.55 \text{ \AA}$). Данная энергия точно совпадает с положением наименьшего резонанса ^{235}U [17]. Монохроматор также позволяет одновременно фокусировать пучок нейтронов в положении мишени, обеспечивая максимальную интенсивность неполяризованных нейтронов около $4 \cdot 10^6 \text{ н/см}^2/\text{сек}$. Подробное описание установки POLI дано в [18].

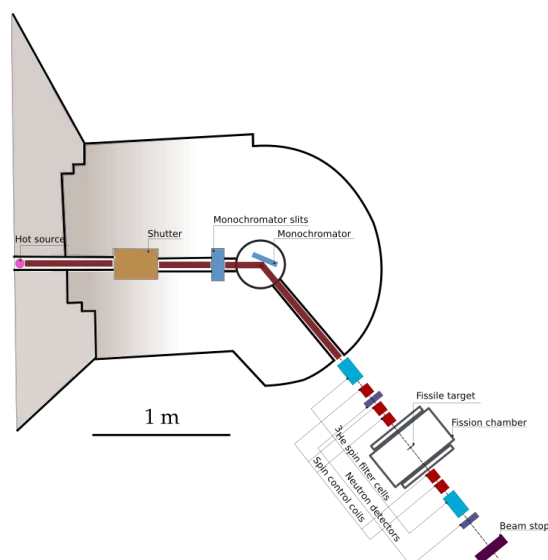
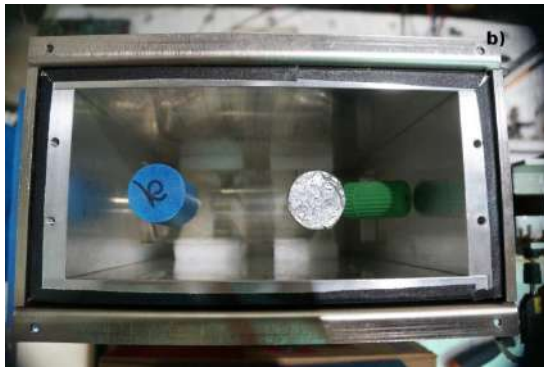


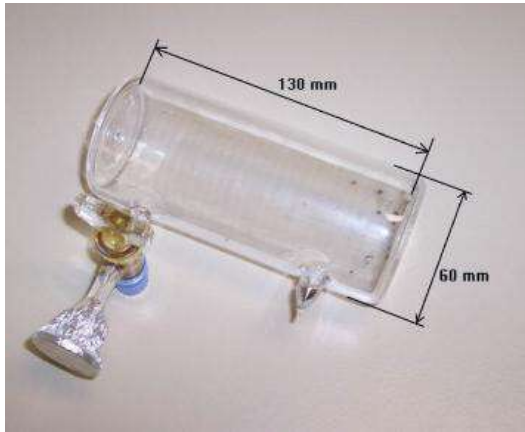
Рисунок 1 – Схематическое изображение экспериментальной установки на инструменте POLI реактора FRM-II.

Для поляризации нейтронов использован специально сконструированный ^3He спин фильтр (в виде ячейки) [19-20]. Такой же спин фильтр использован в качестве анализатора для измерения поляризации пучка. Так как поляризованные ядра ^3He обладают очень высокой спин-зависимой эффективностью поглощения нейтронов в широком диапазоне энергий, ячейку ^3He можно использовать в качестве широкополосного поляризатора или анализатора нейтронов с возможностью оптимизации ее эффективности почти для всех длин волн нейтронов. В нашем эксперименте размер ячеек составлял $\text{Ø}60 \times 130 \text{ мм}$, толщина стенки 4 мм и давление 2.5 бар, которое обеспечивало максимальную поляризацию нейтронов около 70% (рис. 2).

^3He спин фильтры поляризовались во внешней лаборатории и помещались в специальный магнитный корпус с сильным однородным постоянным магнитным полем [21-22]. Поляризация ^3He в ячейках экспоненциально уменьшалась с постоянной времени порядка 40 часов, поэтому ячейки заменялись каждые 24 часов.



а)



б)

а) общий вид ячейки; б) внутри магнитного корпуса.

Рисунок 2 – Ячейка спин-фильтра изготовленная из плавленного кварца.

Поляризация пучка нейтронов определяется измерением трансмиссии ячейки с использованием двух мониторов [23-24]. Общие формулы, описывающие коэффициент пропускания T спин-фильтра для падающего неполяризованного монохроматического пучка нейтронов и поляризации нейтронов P после прохождения через ячейку с поляризованным газом ^3He можно записать:

$$T = T_0 \cdot e^{-\eta} \cdot \cosh(\eta P_{\text{He}}) \quad (1)$$

$$P = \tanh(\eta P_{\text{He}}) \quad (2)$$

где T_0 - трансмиссия нейтронного пучка, измеренная без ячейки, а P_{He} - поляризация используемого газа ^3He . Параметр η определяет непрозрачность фильтра, связанную непосредственно с σ_0 , σ_p , N и d , где N - количество атомов в единице объема, d - толщина фильтра, σ_0 - независимая от спина часть полного сечения и σ_p - так назы-

ваемое сечение поляризации. Для практических целей значение непрозрачности газа ^3He при комнатной температуре можно оценить, используя соотношение

$$\eta = 7,32 \times 10^{-2} \cdot p \text{ (бар)} \cdot d \text{ (см)} \cdot \lambda \text{ (Å)} \quad (3)$$

где p - давление газа, d - длина пути нейтрона в газе и λ - длина волны нейтронов. Для наглядности зависимость трансмиссии и степени поляризации нейтронов от степени поляризации ^3He из уравнений 1-2 изображены на рисунке 3.

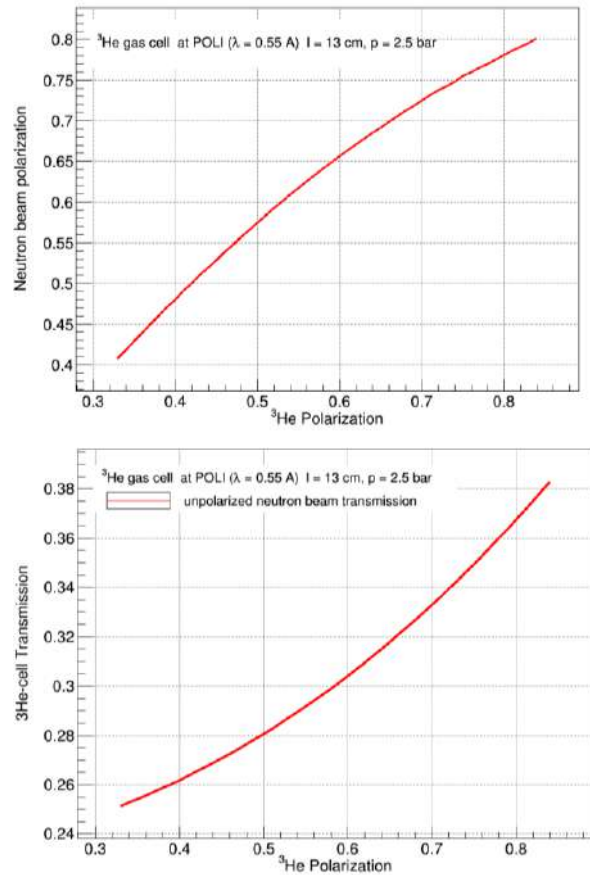
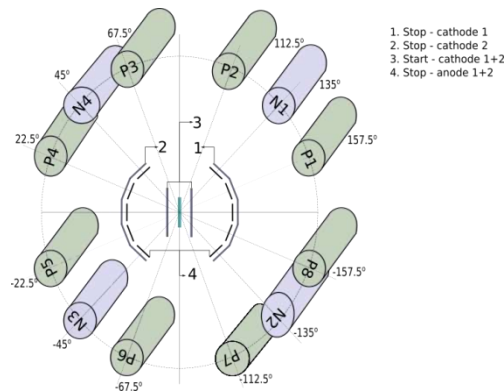


Рисунок 3 Зависимость трансмиссии и степени поляризации нейтронов от степени поляризации ^3He .

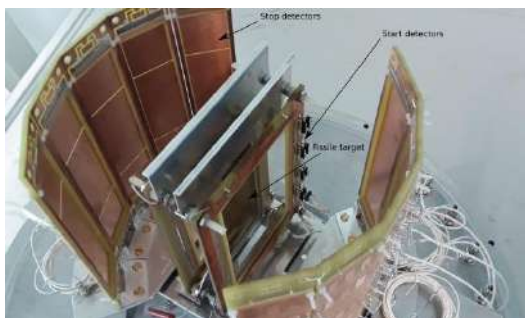
Обе, поляризатор и анализатор обеспечивали вертикальную поляризацию пучка нейтронов, в то время как для исследуемого эффекта требовалась горизонтальная (продольная) поляризация. Для изменения направления поляризации от вертикального к горизонтальному, а также для сохранения ориентации спинов нейтронов в пространстве между поляризатором и анализатором использовалась специально разработанная система управления спином, состоящая из нескольких магнитных катушек с экраном

из μ -металла, которая также позволяла осуществлять реверс направления спина в заданном положении на 180 градусов каждые 1,3 секунды.

Схематический вид камеры деления, окруженной набором гамма детекторов, показан на рисунке 4 а. Камера заполнена газом CF_4 при давлении около 10 мбар. На оси камеры располагалась урановая мишень, содержащая около 82 мг ^{235}U (99,99%) оксида, нанесенного с двух сторон толстой алюминиевой подложки толщиной $40 \times 100 \text{ мм}^2$. В качестве детекторов осколков деления использовались тонкие многопроволочные пропорциональные счетчики низкого давления (LPMWPC), размещенные на двух сторонах мишени на расстоянии $\sim 3 \text{ см}$ (стартовый детектор) и $\sim 11 \text{ см}$ (стоп-детектор) (рисунок 5).



а)



б)

Рисунок 4 – а) Схематический вид камеры деления; б) многопроволочный пропорциональный счетчик низкого давления

Восемь цилиндрических пластиковых и 4 NaI сцинтилляционных детекторов были вставлены во вращающийся держатель на расстоянии около 30 см от центра мишени, что обеспечивала последующие изме-

рения совпадений мгновенных гамма-лучей деления и нейтронов с осколками деления под углами $\pm 22.5, \pm 45, \pm 67.5, \pm 112.5, \pm 135$ и $\pm 157,5$ градусов относительно средней оси детектирования осколков.

Мгновенные нейтроны отделены от мгновенных гамма-лучей с использованием метода времени пролета (рис. 5). Каждое совпадение событий сигналов от детекторов гамма/нейтронов и фрагментов оцифровывался многоканальным TDC CAEN V775N и сохранялось вместе с информацией о направлении поляризации пучка нейтронов. Реверс поляризации происходил на частоте 1,3 Гц, входной сигнал TDC задерживался на время спина-флип нейтрона. В то же время для оперативного управления установкой частоты совпадений нейтронов/ γ -лучей и осколков деления регистрировались счетчиками, которые считывались каждые 5 минут для каждого детектора. Значения асимметрий, рассчитанные по формуле:

$$R = (N^+ - N^-) / (N^+ + N^-) \quad (4)$$

постоянно контролировались. Здесь N^+ и N^- - скорости счета совпадений для противоположных направлений поляризации нейтронов. Одновременно измерялась и контролировалась асимметрия скоростей счета фрагментов.

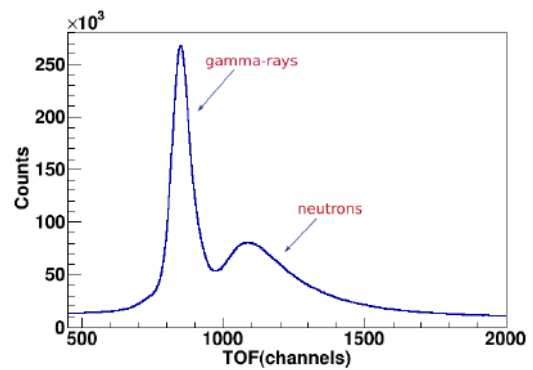


Рисунок 5 – Времяпролетный спектр от одного из пластиковых детекторов

Результаты и обсуждения

На рисунке 6 показано отношение анизотропии R , определенное по экспериментальным данным по формуле (4), для мгновенных гамма-лучей (слева) и нейтронов (справа), обнаруженных по совпадению

с одним из осколков деления. 16 точек на рисунке — это 16 возможных комбинаций углов между сцинтилляторами и детекторами осколков. В каждой точке просуммированы события от разных сцинтилляторов и детекторов осколков, но имеющие одинаковые углы. Угловая зависимость в первом приближении может быть профитирована функцией $F=A \cdot \sin(2\theta)$, которая показана на графиках. Параметр анизотропии A определяется из фита и равен $A_\gamma = (-3,8 \pm 2,8) \times 10^{-5}$ для гамма-лучей и $A_n = (+2,6 \pm 3,1) \times 10^{-5}$ для нейтронов, χ^2/N - 0,87 и 0,96 соответственно. Эти результаты можно сравнить с соответствующими значениями для ^{235}U , полученными с холодными нейтронами: $A_\gamma = (-16,6 \pm 1,6) \times 10^{-5}$ (при 45 градусах) и $A_n = (21,2 \pm 2,5) \times 10^{-5}$ (при 22,5 градусах). Отсюда следует, что эффект определенно меньше, чем при индуцированном делении холодными нейтронами.

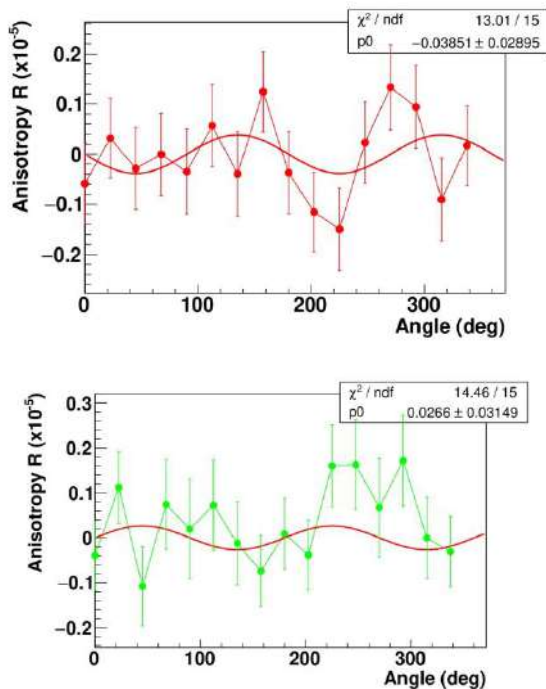


Рисунок 6 – Отношение анизотропии R как функция угла для гамма-лучей (слева) и нейтронов (справа).

Следует отметить, что авторы [15], разработавшие одну из наиболее полных моделей TRI- и ROT-эффектов, предсказали такое уменьшение коэффициента анизотропии для резонанса 0,27 эВ ^{235}U на основе известных вкладов от $J = 3$ и $J = 4$ частичных сечений для этих ядер и от значе-

ния наиболее вероятного К-канала для этих спинов, полученных из их работы. Таким образом, результаты нашего эксперимента согласуются с самым современным теоретическим предсказанием модели.

Мы считаем, что важно продолжить такой тип экспериментов, и расширить измерения до более высоких энергий, например, к резонансу 1,14 эВ, где эффект должен быть больше, чем для холодных нейтронов, и практически присутствует только $J = 4$ спиновое состояние.

Литература:

1. P. Jesinger, G. V. Danilyan, A. M. Gagarski, P. Geltenbort, F. Goennenwein and et al., Phys. At. Nucl. 62:9, 1608-1610 (1999).
2. P. Jesinger, A. Koetzle, A. Gagarski, F. Goennenwein, G. Danilyan and et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 440, 618-625 (2000). [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(99\)01051-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(99)01051-7)
3. K. Schreckenbach, J. van Klinken, and J. Last, Proceedings of the 2nd International Workshop on Time Reversal Invariance and Parity Violation in Neutron Reactions, Dubna, Russia, May 4–7, 1993, (World Scientific Publishing Company, Singapore, 1994), p. 187.
4. G.V. Danilyan, J. Klenke, V.A. Krakhotin, V.L. Kuznetsov, V.V. Novitsky and et al., Phys. At. Nucl. 72, 1872-1877 (2009). DOI: 10.1134/S1063778809110027
5. G.V. Danilyan, J. Klenke, V.A. Krakhotin, Yu.N. Kopatch, V.V. Novitsky and et al., Phys. At. Nucl. 74, 697-701 (2011). DOI:10.1134/S1063778811050061
6. G.V. Danilyan, J. Klenke, Yu.N. Kopatch, V.A. Krakhotin, V.V. Novitsky and et al., Phys. At. Nucl. 77, 677-681 (2014).
7. F. Goennenwein, EPJ Web of Conferences 62, 07002 (2013). DOI:10.1051/epjconf/20136207002
8. G. V. Danilyan, JETP Letters 107:4, 216-218 (2018). DOI: 10.1134/S002136401804001X
9. Yu.N. Kopatch, V.V. Novitsky, G.S. Ahmadov, A.M. Gagarsky, D. Berikov and et al., EPJ Web of Conferences 169, № 00010 (2018). <https://doi.org/10.1051/epjconf/201816900010>

10. V. E. Bunakov and S. G. Kadmsky, Phys. At. Nucl. 66, 1846-1860 (2003). DOI: 10.1134/1.1619496
11. V. E. Bunakov, S. G. Kadmsky, and S. S. Kadmsky, Phys. At. Nucl. 71, 1887-1906 (2008). DOI:10.1134/S1063778808110069
12. V. E. Bunakov and S. G. Kadmsky, Phys. At. Nucl. 74, 1655-1661 (2011). DOI: 10.1134/S1063778811110068
13. A. L. Barabanov, in Proceedings of the IX International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 23–26, 2001 (Dubna, Russia, 2001), p. 93.
14. A. L. Barabanov, Phys. Part. Nucl. Lett. 10, 336-339 (2013). DOI: 10.1134/S154747711304002X
15. A. Gagarski F. Goennenwein, I. Guseva et al., Phys. Rev. C 93, 054619 (2016)
16. V. Hutanu, J. Large-Scale Res. Facil. 1, A16 (2015). DOI: 10.17815/jlsrf-1-22
17. L. C. Leal, G. de Saussure and R. B. Perez, Nuclear Science and Engineering 109, 1-17, (1991) DOI: 10.13182/NSE91-A23840
18. <https://www.mlz-garching.de/poli>
19. V. Hutanu, M. Meven, S. Masalovich, G. Heger, and G. Roth, J. Phys.: Conf. Ser. 294, 012012 (2011)
20. V. Hutanu, M. Meven, S. Masalovich and G. Heger, Physica B 397, 135-137 (2007)
21. V. Hutanu, M. Meven, A. Sazonov and G. Heger, Meas. Sci. Technol. 19, 034010 (2008). doi:10.1088/0957-0233/19/3/034010
22. S. Masalovich and O. Lykhvar, Journal of Physics: Conference Series 294, 012016 (2011). doi:10.1088/1742-6596/294/1/012016
23. V. Hutanu, M. Meven, S. Masalovich, G. Heger and G. Roth, Journal of Physics: Conference Series 294, 012012 (2011). doi:10.1088/1742-6596/294/1/012012
24. S. Masalovich, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 581, 791-798 (2007). doi:10.1016/j.nima.2007.08.150

Принято к печати 25.11.19

Д.Б. Бериков^{1,4}, Ю.Н. Копач¹, В.В. Новицкий^{1,2}, Г.С. Ахмадов^{1,7},
А.М. Гагарский³, К.Ш. Жумадилов⁴, Г.В. Данилян^{1,2},
В. Хутану⁵, Й. Кленке⁶, С. Масалович⁶

¹Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980 Дубна, Россия

²Институт теоретической и экспериментальной физики Национального исследовательского центра "Курчатовский институт" 117218 Москва, Россия

³Петербургский институт ядерной физики Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", 188300 Гатчина, Россия

⁴Евразийский Национальный Университет им. Л.Н. Гумилева, 010000, Нур-Султан, Казахстан

⁵RWTH Ахенский университет и JCNS Юлихский исследовательский центр, 85748 Гархинг, Германия

⁶Исследовательский нейтронный источник Хайнц Майер-Лейбниц, D-85747 Гархинг, Германия

⁷Национальный центр ядерных исследований, Баку, Азербайжан
(E-mail: ^{1,4}daniyar.berikov@gmail.com)

ЭФФЕКТ ВРАЩЕНИЯ ДЕЛЯЩЕГОСЯ ЯДРА В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ МГНОВЕННЫХ НЕЙТРОНОВ И γ -КВАНТОВ ДЕЛЕНИЯ ^{235}U В РЕЗОНАНСЕ 0.3 ЭВ НА ГОРЯЧЕМ ИСТОЧНИКЕ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ

Аннотация: Т-нечетные угловые корреляции в тройном ядерном делении (TRI и ROT асимметрии) исследовались с целью поиска нарушений временной инвариантности в нейтронно-ядерных взаимодействиях. Отличный от нуля Т-нечетный эффект был обнаружен в эксперименте по измерению асимметрии при испускании легких заряженных частиц в тройном делении ^{235}U (TRI-эффект), выполненном на высокопоточном ядерном реакторе ILL в Гренобле коллаборацией российских и европейских институтов. Как ока-

залось, эффект не связан с нарушением Т-инвариантности, а может быть объяснен сложным механизмом процесса деления. Позднее ROT эффект наблюдался при испускании мгновенных гамма-квантов и нейтронов в делении ^{235}U и ^{233}U , хотя его величина была на порядок меньше, чем при испускании α -частиц в тройном делении. Все эксперименты, которые были поставлены ранее, выполнены с холодными поляризованными нейтронами, что предполагает смесь нескольких спиновых состояний компаунд ядра, относительные вклады которых недостаточно хорошо известны.

В настоящей работе представлен результат первых экспериментов по измерению ROT-эффекта в делении ^{235}U горячими поляризованными нейтронами на установке POLI реактора FRM2 в Гархинге с энергиями нейтронов 0.3 эВ. Данная энергия соответствует положению первого изолированного резонанса ^{235}U .

Ключевые слова: Т-нечетные эффекты в делении ядер, ROT-эффект для γ -квантов и нейтронов.

Д.Б. Бериков^{1,4}, Ю.Н. Копач¹, В.В. Новицкий^{1,2}, Г.С. Ахмадов^{1,7},
А.М. Гагарский³, К.Ш. Жумадилов⁴, Г.В. Данилян^{1,2},
В. Хутану⁵, Й. Кленке⁶, С. Масалович⁶

¹Біріккен ядролық зерттеу институты, 141980 Дубна, Ресей

²"Курчатов институты" Ұлттық зерттеу орталығының теориялық және эксперименталдық физика институты, 117218 Мәскеу, Ресей

³"Курчатов институты" Ұлттық зерттеу орталығының Петербург ядролық физика институты, 188300 Гатчина, Ресей

⁴Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010000 Нұр-Сұлтан, Қазақстан

⁵RWTH Ахен университеті және JSNS Юлих зерттеу орталығы, 85748 Гархинг, Германия

⁶Хайнц Майер-Лейбниц нейтрондық зерттеу көзі, 85748 Гархинг, Германия

⁷Ұлттық ядролық зерттеу орталығы, AZ1000 Баку, Әзірбайжан

ЫСТЫҚ ПОЛЯРЛАНҒАН НЕЙТРОНДАР КӨЗІНДЕ ^{235}U 0.3 ЭВ РЕЗОНАНСЫНДА БӨЛІНУІ КЕЗІНДЕГІ ЛЕЗДІК НЕЙТРОНДАР МЕН γ -КВАНТАРДЫҚ БҰРЫШТЫҚ ШАШЫРАУЛАРЫНДАҒЫ БӨЛІНУШІ ЯДРОНЫҢ АЙНАЛУ ЭФФЕКТИСІ

Аннотация. Үштік ядролық бөліну кезіндегі Т-тақ бұрыштық корреляциялар (TRI және ROT асимметриялар) нейтрон-ядролық әсерлесу кезіндегі уақыт инвариантының бұзылуын іздеу мақсатында зерттелді. Нөлге тең емес Т-тақ эффект Ресей мен Еуропа институттарының коллаборациясы арқылы Гренобльдегі жоғары ағындық ILL ядролық реакторда жүргізілген, ^{233}U үштік бөлінуі кезіндегі жеңіл зарядталған бөлшектердің ұшып шығу асимметриясын (TRI) өлшеуге бағытталған экспериментте табылды. Эффект Т-инвариантының бұзылуымен байланысты емес, бөліну процессінің қиын механизмі арқылы түсіндіруге болатыны анықталды. Кейінірек ROT эффект ^{235}U және ^{233}U бөлінуі кезіндегі лездік гамма-кванттар мен нейтрондар үшін анықталды, алайда оның мәні үштік бөліну кезіндегі α -бөлшектердің ұшып шығуымен салыстырғанда бір дәрежеге төмен. Осыған дейін қойылған эксперименттердің барлығы суық полярланған нейтрондармен жасалған, бұл кезде компаунд ядроның бірнеше спиндік күйлер қоспасы байқалады және олардың қосар үлесі белгілі емес.

Осы жұмыста Гархингтегі FRM-II реакторындағы POLI қондырғысында 0.3 эВ ыстық полярланған нейтрондармен ^{235}U бөлінуі кезіндегі ROT-эффектіні өлшеуге бағытталған алғашқы эксперименттің нәтижелері көрсетілген. Бұл энергия ^{235}U бірінші окшауланған резонансына сәйкес келеді.

Түйін сөздер: Ядролардың бөлінуі кезіндегі T-тақ эффектілер, γ -квантар мен нейтрондар үшін ROT-эффект.

D.B. Berikov^{1,4}, **Yu.N. Kopatch**¹, **V.V. Novitsky**^{1,2}, **G.S. Ahmadov**^{1,7}, **A.M. Gagarski**³, **K.Sh. Zhumadilov**⁴, **G.V. Danilyan**^{1,2},
V. Hutanu⁵, **J. Klenke**⁶, **S. Masalovich**⁶

¹*Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia*

²*Institute for Theoretical and Experimental Physics of National Research Centre “Kurchatov Institute”, 117218 Moscow, Russia*

³*Petersburg Nuclear Physics Institute of National Research Centre “Kurchatov Institute”, 188300 Gatchina, Russia*

⁴*L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010000 Nur-Sultan, Kazakhstan*

⁵*RWTH Aachen University and JCNS at Maier-Leibnitz Zentrum, 85748 Garching, Germany*

⁶*Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz, 85747 Garching, Germany*

⁷*National Nuclear Research Center, AZ1000 Baku, Azerbaijan.*

EFFECT OF ROTATION OF FISSIONING NUCLEI IN THE ANGULAR DISTRIBUTIONS OF PROMPT NEUTRONS AND γ -RAYS IN FISSION OF ^{235}U IN 0.3 RESONANCE AT THE HOT SOURCE OF POLARIZED NEUTRONS

Abstract. T-odd angular correlations in ternary nuclear fission (TRI and ROT asymmetries) were studied with the aim of finding a violation of Time Reversal Invariance (TRI) in neutron-nuclear interactions. A nonzero T-odd effect was discovered in an experiment to measure asymmetry in the emission of light charged particles in the ^{233}U ternary fission (TRI effect), which was performed at a high-flux ILL nuclear reactor in Grenoble by the collaboration of Russian and European institutions. As it turned out, the effect is not associated with violation of T-invariance, but can be explained by a complex mechanism of the fission process. Later, the ROT effect was observed in the emission of prompt gamma-rays and neutrons in fission of ^{235}U and ^{233}U , although its magnitude was an order of magnitude smaller than in the emission of α - particles in ternary fission. All experiments up to now were performed with cold polarized neutrons, which suggests a mixture of several spin states of the compound nucleus, the relative contributions of which are not well known.

Our work presents the results of the first experiments to measure the ROT effect in the fission of ^{235}U by hot polarized neutrons at the POLI facility of the FRM-II reactor in Garching with neutron energies of 0.3 eV. This energy corresponds to the position of the first isolated resonance of ^{235}U .

Keywords: T-odd effects in the fission of heavy nuclei, ROT-effect for prompt γ -rays and neutrons.