

УДК 539.1.05

**Д. В. Каманин, С. Поспишил, Ю. В. Пятков, О. В. Стрекаловский,
П. Буриан, М. Холик, Л. Медина, З. И. Горяйнова**

Исследование поведения осколков деления радиоактивных ядер при прохождении через твердотельные фольги с помощью детектора *Timerix3* (проект эксперимента)

*Цель проекта – исследование нового эффекта, связанного с поведением осколков деления радиоактивных ядер при прохождении через твердотельную фольгу. Согласно предыдущим экспериментам, ожидается, что некоторые из осколков в результате неупругого столкновения с ядрами фольги распадаются на два ядра, причем одно из них – магическое, например, ^{128}Sn , ^{132}Sn , ^{144}Ba . Проект направлен на детектирование всех продуктов распада осколка с использованием PiN -детекторов и гибридного пиксельного детектора частиц *Timerix3* со считывающим устройством «Катерина». Детектор *Timerix3* позволяет одновременно определять координаты (x , y) обнаруженных продуктов распада с разрешением не хуже 55 мкм, а также их энергию и время пролета. Регистрация сигналов с PiN -детекторов осуществляется с помощью многоканальных скоростных оцифраторов (5 ГГц) DT5742.*

*Ключевые слова: *Timerix3*, тройной коллинеарный кластерный распад, PiN детектор, ^{252}Cf , считывающее устройство «Катерина»*

Об авторах

Каманин Дмитрий Владимирович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ЛЯР ОИЯИ. *E-mail*: kamanin@jinp.ru. 141980, Московская обл., г. Дубна, Жолио-Кюри, 6.

Поспишил Станислав – профессор института экспериментальной и прикладной физики Чешского технического университета в Праге.

Пятков Юрий Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

Стрекаловский Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования электроники для установок «мегасайенс» государственного университета «Дубна».

Буриан Петр – начальник отдела в университете Западной Богемии.

Холик Михаил – сотрудник института экспериментальной и прикладной физики Чешского технического университета в Праге.

Медина Лукаш – сотрудник института экспериментальной и прикладной физики Чешского технического университета в Праге.

Горяйнова Зоя Игоревна – младший научный сотрудник ЛЯР ОИЯИ.

Постановка физической проблемы

В соответствии с нашими экспериментами [1–4] некоторые из фрагментов бинарного деления слабо возбужденных актинидов рождаются в состоянии изомеров формы. Сильно деформированный фрагмент представляет собой слабосвязанную бинарную систему (изомер формы), распадающуюся с определенной вероятностью в случае неупругого рассеяния в твердой фольге даже при касательных столкновениях с большим прицельным параметром. Одним из продуктов распада является магическое ядро, например, ^{68}Ni , ^{72}Ni . Для описания совокупности наблю-

даемых проявлений такого процесса нами предложен термин «тройной коллинеарный кластерный распад (ТККР)».

В менее возбужденных фрагментах заселение состояния изомера формы также возможно, но система оказывается более связанной, чем в предыдущем случае, и ее разрушение в твердой фольге наблюдается с меньшей вероятностью. И в этом случае хотя бы один из продуктов распада оказывается магическим ядром, например, ^{128}Sn , ^{132}Sn , ^{144}Ba . Оба продукта распада летят в одном направлении с очень малым углом между ними (в диапазоне $0,3^\circ$ – 2°).

Таким образом, заселение ранее неизвестных состояний изомеров формы во фрагментах бинарного деления ядер актинидов происходит, по сути, в процессе бинарного деления, а взаимодействие осколка с твердо-

тельной фольгой служит своеобразным детектором наличия такого состояния.

Данные о проявлениях кластеризации в тройном делении на осколки сопоставимых масс («истинно тройное деление») получены в рамках метода «недостающей массы». В эксперименте регистрируются только два осколка из трех, а существенный дефицит их суммарной массы («недостающая масса») по сравнению с массой исходного ядра служит признаком многотельного распада. Для построения адекватной модели наблюдаемых эффектов необходим кинематически полный эксперимент с измерением масс, энергий и векторов скорости всех ядер, участвующих в процессе.

Двухкоординатный пиксельный детектор *Timepix3*.

Детектор *Timepix3* принадлежит к семейству гибридных двухкоординатных многопиксельных детекторов семейства *Medipix* [5] и имеет следующие параметры:

- количество пикселей 256×256 (65536 пикселей), размером 55×55 мкм;

- временное разрешение 1,5625 нс.;
- одновременно регистрируется время попадания носителей заряда в отдельный пиксел и энергия, связанная с этим пикселем;
- поток данных управляет процессом регистрации.

Разработанная чешскими коллегами из института экспериментальной и прикладной физики система считывания данных с детектора *Timepix3* «Катерина» [6] позволяет подключить его по сети *Ethernet* и дополнительно иметь доступ к регистрам общего назначения *GPIO*.

Детектор разработан для регистрации рентгеновских квантов, когда каждый гамма-квант попадает преимущественно в один пиксел. При облучении детектора альфа-частицами и осколками деления возникают кластеры из множества пикселей. Дальнейший анализ этих кластеров позволяет судить о времени, энергии и месте попадания частицы в детектор (рис. 1).

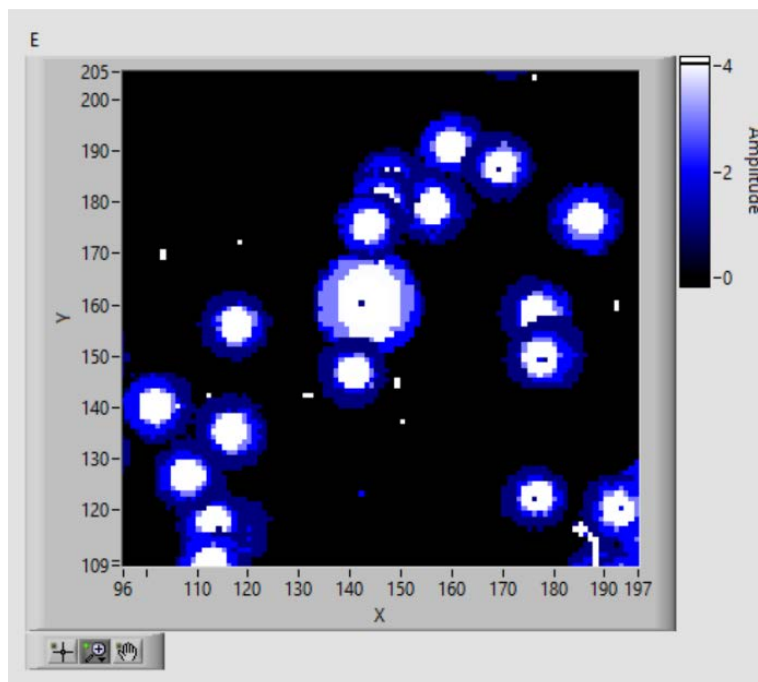


Рис. 1. Альфа-частицы и осколок деления ^{252}Cf (с координатами $X = 145$, $Y = 163$)

Схема предлагаемой установки

Цель экспериментов заключается в поиске событий, в которых одновременно с тяжелым осколком, попавшим в стартовый *PiN*-детектор, регистрируется ион-свидетель, попавший в один из *PiN*-детекторов кольца и два

ядра-продукта распада легкого осколка в фольге. Последние регистрируются детектором *Timepix3*. Кластеры из пикселей, образующиеся в результате регистрации продуктов распада, сильно отличающихся по энергии, должны существенно отличаться друг от дру-

га и количеством пикселей. Ожидаемый угол между продуктами распада лежит в пределах $0,3^\circ$ – 2° .

Кинематика процесса ТККР на примере разделения Sn – Ni – Ca иллюстрируется рис. 1. Ионы Ni и Ca образуются из-за разрушения при прохождении фольги из Al промежуточного осколка Cd, образовавшегося после бинарного деления ^{252}Cf . Выбитый из фольги ион играет роль свидетеля бинарной фрагментации Cd. Энергия иона-свидетеля не превышает нескольких МэВ, а вектор скорости почти перпендикулярен оси деления. В паре Ni / Ca энергии партнеров существенно различаются ($\approx 100 / 10$ МэВ).

Для надежной идентификации иона-свидетеля его масса определяется времяпролетным методом. Стартовый сигнал связан с осколком, зарегистрированным в *PiN*-диоде (1), стоп-сигнал и информация об энергии частицы снимаются с одного из *PiN*-диодов кольца (5). Задержанное совпадение сигналов *PiN* (1) и *PiN* (5) формирует сигнал запуска

для многоканального оцифратора CAEN DT5742, который регистрирует форму сигналов с *PiN* диодов с частотой дискретизации 5 ГГц. Критерии для триггерного сигнала таковы, что фон от альфа-частиц (естественная радиоактивность, обычное тройное деление и полярная эмиссия) надежно подавляется. Если кольцо (5) имеет радиус $R = 10$ см, время пролета для наименее энергичных альфа-частиц естественной радиоактивности ^{252}Cf и выбитых из фольги ионов алюминия с энергией 5 МэВ различается на 10 нс. Расстояние от фольги (4) до *Timepix3* (2) (15 см) было выбрано таким образом, чтобы образующиеся от ионов Ni и Ca кластеры пикселей не перекрывались, даже если угол между этими фрагментами составляет $0,3^\circ$. Чтобы улучшить угловое разрешение, на следующем этапе эксперимента *PiN* (1) будет заменен устройством *Timepix3*, чтобы измерить координаты точки, в которой происходит деление на источнике Cf с радиусом активного пятна 5 мм.

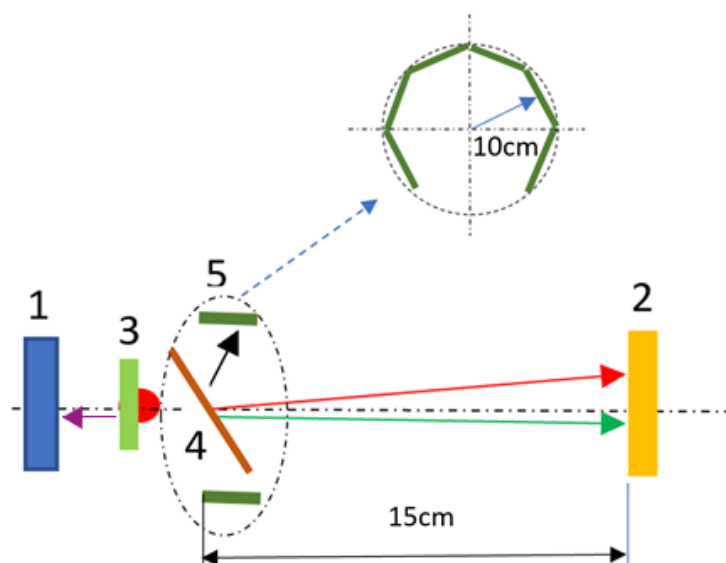


Рис. 2. Установка:

1 – *PiN*-диод; 2 – двухкоординатный пиксельный детектор *Timepix3*; 3 – источник ^{252}Cf ; 4 – тонкая фольга Al; 5 – *PiN*-диоды для регистрации выбитого из фольги иона «свидетеля». Для разделения Sn – Ni – Ca, взятого для примера, векторы скоростей регистрируемых ионов: красный Ni, зеленый Ca, черный Al, фиолетовый Sn

Пороговый дискриминатор, на вход которого подается сигнал с выхода пускового *PiN*-диода, позволяет исключить многочисленные запуски системы от альфа-частиц, а регистрация происходит только при попадании осколка деления в этот детектор. Сигнал с выхода дискриминатора запускает по входу

TR0 блок DG5742 и одновременно поступает на вход GPIO2 пиксельного детектора. Моменты прихода сигнала запуска регистрации на детектор записываются в файл.

При записи данных цифровым преобразователем DG5742 для каждого зарегистрированного события фиксируется текущее время

компьютера. Точность такой привязки не может быть лучше нескольких мс.

Для синхронизации времени момента регистрации события детектором *Timepix3* и цифровым регистратором в один из каналов регистратора записывается сигнал с внешнего генератора. Этот же сигнал записывается на входе *GPIO3* детектора *Timepix3*. Эта информация позволяет связать текущее время персонального компьютера и внутреннее время интерфейса «Катерина».

Заключение

В настоящее время работы по запуску установки находятся на завершающем этапе. Подготовлена вакуумная камера с необходимым оборудованием, изготавливаются элементы крепления детекторов. Ведется разработка электроники и необходимого программного обеспечения.

Долгосрочные измерения угловых и массовых корреляций продуктов ТККР будут проводиться в ЛЯР (ОИЯИ) на ультратонких источниках ^{252}Cf . Некоторые тестовые эксперименты с детектором *Timepix3* планируется провести на ускорителе ИЦ-100.

Работа выполняется в рамках совместного проекта Объединенного института ядерных исследований и института экспериментальной и прикладной физики в Праге (Чешская республика).

Библиографический список

1. Burian P., Broulim P., Jars M., Georgiev V., Bergmann B. Katherine: ethernet embedded readout interface for Timepix3 // Journal of Instrumentation. 2017. JINST 12. C11001.
2. Kamanin D.V., Pyatkov Yu.V., et al. Collinear cluster tri-partition – the brightest observations and their treating // 11th International Conference on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics, Napoli, Italy May 23–27 2016, Journal of Physics: Conference Series 863. 2017. Art. 012045.
3. Pyatkov Yu.V., Kamanin D.V., et al. First results on observation of new shape isomers // Physics Procedia. 2015. 74. P. 67.
4. Strelakovsky A.O., Pyatkov Yu.V., Kamanin D.V. et al. Observation of cluster structure of fission fragments // Journal of Physics: Conference Series. 2019. V. 1390. 012010.
5. “Timepix3” – Accelerating Innovation. CERN. – URL: <https://kt.cern/technologies/timepix3> (режим доступа: свободный. Дата обращения: 02.11.2020).

Поступила в редакцию
22.10.2020