

М. ДИНЕЙХАН¹, Д. М. ДЖАНСЕЙТОВ¹, Д. Т. АЗНАБАЕВ², А. Н. ИСАДЫКОВ¹, Д. С. ВАЛИОЛДА¹

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы,
²Лаборатория Нейтронной физики им. И. М. Франка, ОИЯИ, г. Дубна, Россия)

ИССЛЕДОВАНИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ, НАЦЕЛЕННЫХ НА РЕГИСТРАЦИЮ ПРОТОНОВ ($E < 200$ МЭВ) И ГАММА КВАНТОВ ($E < 30$ МЭВ) В ПРОЕКТЕ R3B И EXL

Аннотация

Проводится исследование современных материалов: неорганических сцинтилляторов (CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380), фотоприемников (ФЭУ с различными фотокатодами) и отражателей – основных составляющих сцинтилляционных детекторов гамма-излучения с точки зрения удовлетворения техническим требованиям, предъявляемым к калориметрам установок R3B и EXL по условиям планируемых экспериментов.

Ключевые слова: сцинтилляционный детектор гамма-излучения, неорганический сцинтиллятор CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380, ФЭУ R7600-100, XP4312, светосбор, энергетическое разрешение.

Кілт сөздер: гамма сәулесінің сцинтилляциялық детекторы, CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380 бейорганикалық сцинтилляторлар, ФЭК (фотоэлектрондық көбейткіштер), жарық жинағыш, энергетикалық рұқсат.

Keywords: gamma-ray scintillation detector, an inorganic scintillator CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380 PMT R7600-100, XP4312, light collection, energy resolution.

Введение. В ближайшие несколько лет в GSI (г. Дармштадт, Германия) реализуется новый крупный международный проект FAIR[1], в рамках которого вступит в строй целый ряд мощных современных базовых установок. В двух проектах NUSTAR@FAIR: R3B и EXL[2] требуется создание калориметров для регистрации гамма-квантов и заряженных частиц с большим пробегом. Для обеспечения необходимого углового разрешения калориметра составляющие его отдельные детекторы должны иметь сечение $20 \times 40 \text{ мм}^2$, при этом поглощение 90% гамма-квантов обеспечивается толщиной этих детекторов от 100 до 200 мм. Сцинтиллятор CsI(Tl) на данный момент является главным претендентом на создание детекторов для этих калориметров, но существуют еще несколько сцинтилляторов, которые отвечают предъявляемым требованиям, это PreLude 420 и BriLanCe 380, производимых компанией Saint-Gobain (Франция) [5]. Обзор этой статьи как раз и посвящен изучению характеристик этих сцинтилляторов.

Прежде всего, необходимы прототипы будущих детекторов, на которых проверяются различные решения. Для этого из целиковых монокристаллов размерами $150 \times 100 \text{ мм}^3$, $200 \times 150 \text{ мм}^3$ вдоль направления роста и соответственно изменения концентрации активатора Tl в сцинтилляторе CsI(Tl) вырезаны параллелепипеды размерами: $25 \times 25 \times 25 \text{ мм}^3$, $25 \times 25 \times 50 \text{ мм}^3$, $25 \times 25 \times 75 \text{ мм}^3$, $25 \times 25 \times 100 \text{ мм}^3$.

Различные фотоприемники, такие как pín и лавинные фотодиоды, а также ФЭУ имеют различные площа-ди, поэтому нет прямой возможности сравнивать их без адаптации кристаллов. Существует возможность раз-делить задачу поиска оптимальной конфигурации детектора на несколько этапов. При сравнении различных отражательных материалов и подготовке поверхности светосбор проводится спектрометрическим ФЭУ Photonis XP4312В. Размер фотокатода такого ФЭУ с запасом превышает размеры самого крупного из крис-таллов. Изготовлен измерительный стенд, состоящий из крепежа для ФЭУ и длинных кристаллов, а также маски для гамма-источника, позволяющей производить засвечивание локальной области сцинтиллятора. Все механические части помещены внутрь светозащитного бокса, имеется возможность использовать магнитную защиту ФЭУ для уменьшения воздействия рассеянных магнитных полей.

Следующим этапом требуется изготовление прототипов для поиска оптимальной формы световода, изготовление кристаллов с непараллельными сторонами. Такая форма дает некий эффект фокусировки [3].

Проведено измерение нелинейности светосбора на пучке тритонов установки ACCULINA ЛЯР, ОИЯИ. Исследуемый кристалл подготовлен по технологии компактных CsI(Tl) детекторов высокого разрешения.

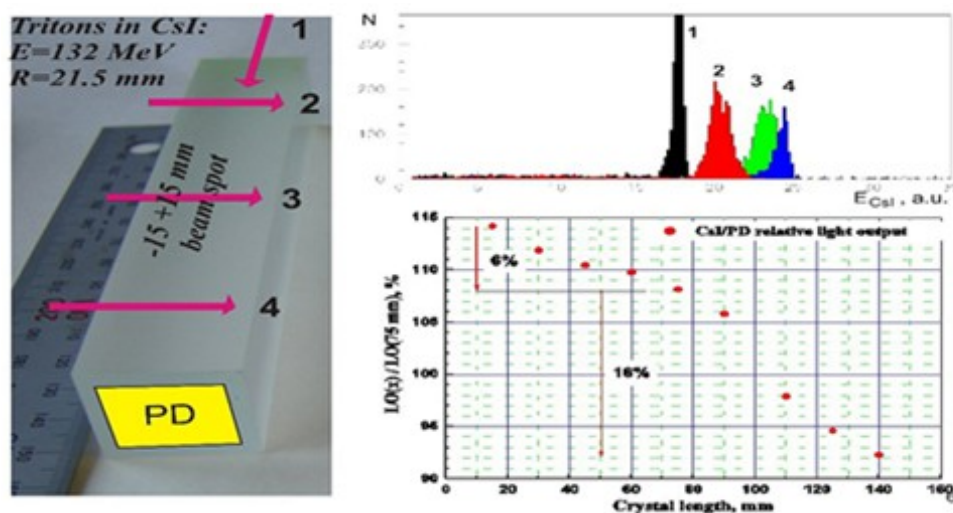


Рисунок 1 – Результаты нелинейности светосбора на пучке тритонов

Требования к калориметрам в проектах NUSTAR@FAIR предельно высоки – это и высокое энерги-ческое разрешение в широком диапазоне энергий и высокая гранулярность, призванная повысить позицион-ное разрешение. Чтобы удовлетворить необходимым условиям, составные части калориметра – отдельные детекторы, должны иметь большую длину по отношению к поперечным размерам. Вытянутая форма значительно усложняет производство, так как, во-первых, требуется изготовление сцинтилляторов сложной формы, во-вторых, необходима разработка метода обработки поверхности, обеспечивающего заданную линейность характеристик по всему объему детектора. Второй по важности стоит задача выбора фото-детектора. Исследования проводились с использованием двух современных ФЭУ: французским Photonis XP4312В и

японским Hamamatsu R7600U[4]. Последний является наиболее подходящей кандидатурой среди ФЭУ для создания калориметров, т.к. обладает замечательными характеристиками:

- низкая чувствительность к магнитному полю;
- повышенная чувствительность фотокатода;
- компактный размер;
- высокое быстродействие.

Сцинтилляторы:

1. CsI(Tl). Как материал, CsI(Tl) является чрезвычайно нежным и капризным. Прежде всего, он обладает заметной гигроскопичностью и растворяется в воде. Также он обладает склонностью к выкрашиванию поверхности при механической обработке и очень низкой твердостью. При неосторожном обращении и нарушении защитной оболочки поверхность сцинтиллятора быстро деградирует и детектор теряет свои первоначальные характеристики.

В случае CsI(Tl) детекторов малых энергий, таких как в нижнем диапазоне энергий калориметров R3B и EXL, энергетическое разрешение складывается из шумов фотоприемника и разрешения сцинтиллятора, в свою очередь определяемых качеством материала и количеством собираемого света.

Исследования были проведены с ФЭУ Hamamatsu R7600U в качестве фотоприемника. Фотоприемник обладает меньшим шумом и позволяет достичь высоких результатов. Разрешение по альфа-линиям ^{226}Ra составило 3% при 7,68 МэВ. На анод ФЭУ подавалось напряжение 700V.

Дальнейшие исследования были проведены с ФЭУ XP4312 в качестве фотоприемника. Были выбраны другие источники: ^{60}Co и ^{137}Cs . Разрешение по гамма-линиям ^{60}Co и ^{137}Cs имеют 5,6% при 1,37 МэВ и 7,1% при 0,67 МэВ. Анод ФЭУ, при рабочем напряжении 700V, был соединен со входом спектрометрического усилителя без восстановителя, с настраиваемыми временами интегрирования и дифференцирования в пределах от 0,5 до 8 мкс.

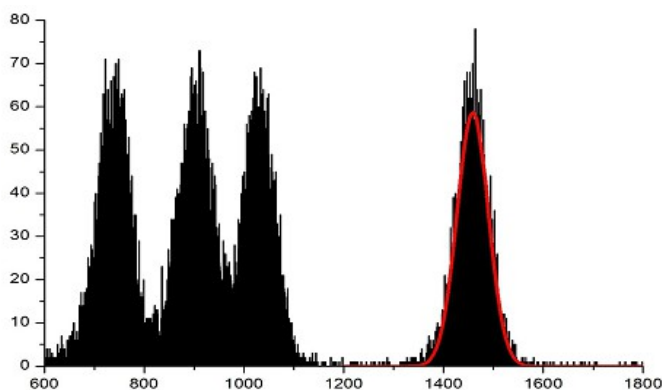


Рисунок 2 – ^{226}Ra альфа спектр с ФЭУ Hamamatsu R7600U,

3 %@ 7.68 МэВ при 22°C

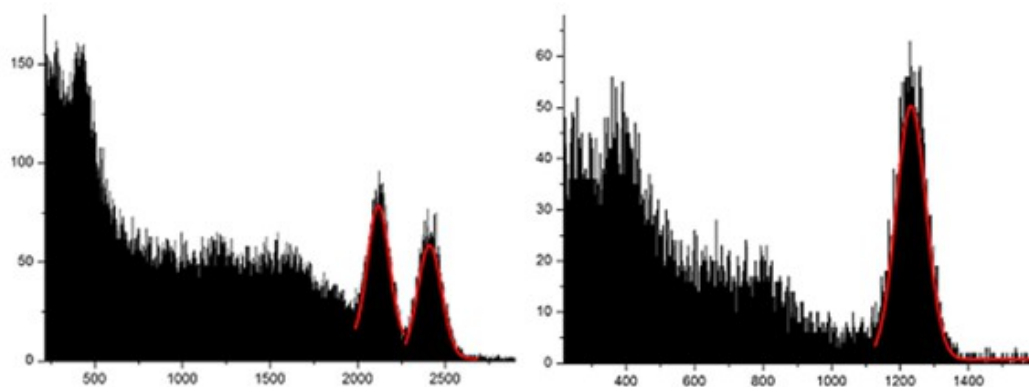


Рисунок 3 – ^{60}Co (слева) и ^{137}Cs (справа) гамма 5.6 % @ 1.37 МэВ и 7.1% @ 0.67 МэВ, ФЭУ ХР 4312 при 700 В 22 °С

Для достижения данного результата система была оптимизирована, а именно проверялось влияние на-грузки на анод ФЭУ и формировок спектрометрического усилителя. В результате выбрана нагрузка 50 Ом, формировки усилителя выбраны 6 мкс.

2. PreLude 420. PreLude 420 представляет из себя плотный (7.1 г/см^3) и крепкий прозрачный материал, нейтральный ко влаге [6]. Для тестирования был взят полированный кристалл с размерами $20 \times 20 \times 100 \text{ мм}^3$.

Кристалл обернут со всех сторон зеркальным отражателем 3M Vikuity ESR и через оптическую смазку Vicron 430 соединен с фотокатодом ФЭУ Hamamatsu R7600U.

Сцинтиллятор демонстрирует сравнимое с CsI(Tl) разрешение при лучшем быстродействии.

Критическим параметром, исключающим возможность применения данного сцинтиллятора, является собственный счет. Даже сравнительно небольшой объем 40 см^3 дает около тысячи всплесков в секунду в широком диапазоне вокруг 600 кэВ, что делает невозможным иметь порог ниже 2 МэВ.

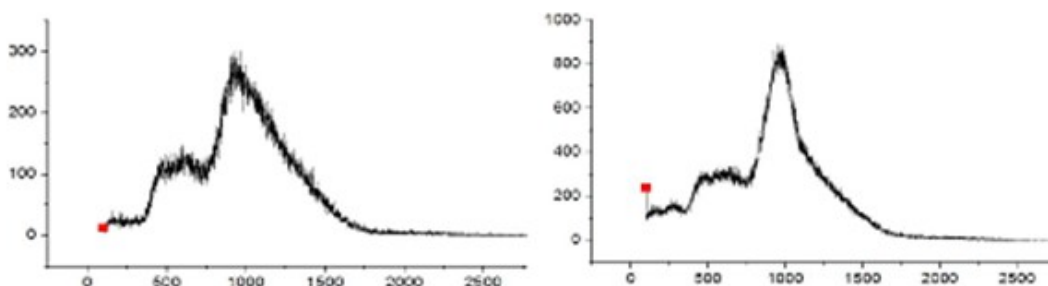


Рисунок 4 – PreLude 420 собственный спектр в отсутствии источника (слева) и спектр регистрации гамма ^{137}Cs в дальней части кристалла (справа)

3. BriLanCe 380. BriLanCe 380 обладает целым рядом выдающихся характеристик, включая стоимость [7]. Никакая модификация поверхности нам не доступна (возможна только по согласованию с производителем). Сцинтиллятор соединяется с фотокатодом ФЭУ Hamamatsu R7600U через оптическую смазку Vicron 430.

BriLanCe 380 продемонстрировал разрешение 2,9%@662 кэВ на гамма-квантах из ^{137}Cs . Собственный счет для объема 40 см³ на уровне единиц в секунду. Облучение ^{241}Am показало, что 60кэВ гамма-кванты отделяются от шумов, что дает возможность иметь порог около 100 кэВ.

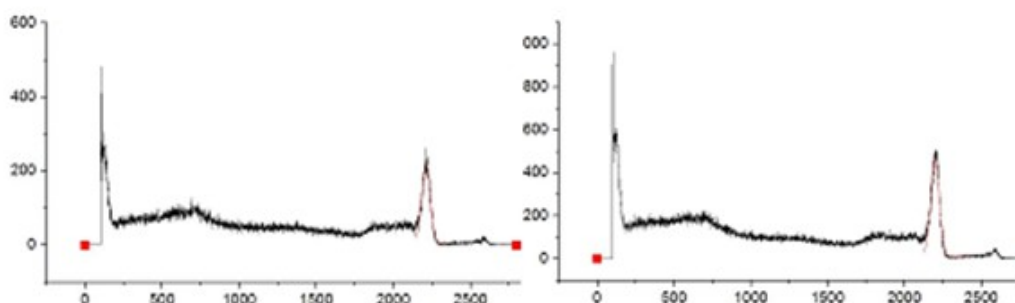


Рисунок 5 – BriLanCe 380 регистрирует гамма ^{137}Cs в дальней части кристалла (слева) и регистрирует гамма ^{137}Cs полной боковой поверхностью кристалла (справа)

Серьезным недостатком является гигроскопичность, потому тестовый кристалл 20x20x100 мм³ упакован в алюминиевый контейнер и цена 30 \$ за 1 см³. Применительно к проектам NUSTAR замена CsI(Tl) (4 \$ за 1 см³) на другие сцинтилляторы с исходно более высоким разрешением приводит к резкому росту стоимости калориметров и потому является неосуществимой.

Заключение. В результате проделанной работы были изучены свойства некоторых сцинтилляционных детекторов.

В частности, исследовались неорганические сцинтилляционные материалы (CsI(Tl), PreLude 420 BriLanCe 380) в сочетании с разными фотоприемниками (ФЭУ различных свойств и размеров) и другими составляющими (отражательные материалы), применимых для создания детекторов гамма-излучения широкого диапазона энергий, контроль результатов проводился измерением спектров контрольных источников ионизирующего излучения ^{226}Ra , ^{137}Cs , ^{60}Co . Формы импульсов записывались цифровым запоминающим осциллографом, записывались одномерные спектры с амплитудно-цифрового преобразователя после спектрометрического формирующего усилителя.

Проводимая работа является частью научно-исследовательской деятельности по созданию гамма-калориметров для установок R3B и EXL в рамках NuSTAR – FAIR, крупного международного проекта, реализуемого в GSI, Германия [8]. Работа нацелена

на достижение детекторами набора свойств, максимально удовлетворяющих небывалым высочайшим требованиям к качеству измерений, необходимых для получения физических результатов с заданной точностью.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 www.gsi.de/portrait/fair.html
- 2 www.gsi.de/forschung/fair_experiments/NUSTAR/
- 3 Акимов Ю.К. Фотонные методы регистрации излучения. – Дубна: ОИЯИ, 2006. – 281 с.
- 4 Каталог фирмы Hamamatsu Photonics. 2004.
- 5 Meister M. et al. The $t+n+n$ System and ^5H // Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 162504.
- 6 <http://www.detectors.saint-gobain.com/PreLude420.aspx>
- 7 <http://www.detectors.saint-gobain.com/Brilliance380.aspx>
- 8 Scheidenberger C. et al. Energy and range focussing of in-flight separated exotic nuclei – A study for the energy buncher stage of the low-energy branch of the Super-FRS // Nucl. Inst. Meth. B 204 (2003) 282.

REFERENCES

- 1 [www.gsi.de, portrait, fair.html](http://www.gsi.de/portrait/fair.html)
- 2 [www.gsi.de, forschung, fair_experiments, NUSTAR](http://www.gsi.de/forschung/fair_experiments/NUSTAR/)
- 3 Akimov Ju.K. Fotonnye metody registracii izluchenija. – Dubna: OIJaI, 2006 – 281 s. (In Russ.).
- 4 Katalog firmy Hamamatsu Photonics. 2004, (In Russ.).
- 5 Meister M. et al. The $t+n+n$ System and ^5H // Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 162504.
- 6 [http://www.detectors.saint-gobain.com, PreLude420.aspx](http://www.detectors.saint-gobain.com/PreLude420.aspx)
- 7 [http://www.detectors.saint-gobain.com, Brilliance380.aspx](http://www.detectors.saint-gobain.com/Brilliance380.aspx)
- 8 Scheidenberger C. et al. Energy and range focussing of in-flight separated exotic nuclei – A study for the energy buncher stage of the low-energy branch of the Super-FRS // Nucl. Inst. Meth. B 204 (2003) 282.

Резюме

М. Дінейхан¹, Д. М. Жансейітов¹, Д. Т. Азнабаев², А. Н. Исадықов¹, Д. С. Валиолда¹

¹ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ.,

²Франк атындағы Нейтрондық физика лабораториясы, Дубна қ., Ресей)

R3B ЖӘНЕ EXL ЖОБАЛАРЫНДА ПРОТОНДАР ($E < 200$ МЭВ) МЕН ГАММА КВАНТТАРДЫ

($E < 30$ МЭВ) ТІРКЕУГЕ АРНАЛҒАН СЦИНТИЛЛЯЦИЯЛЫҚ ДЕТЕКТОРЛАРДЫ
ЗЕРТТЕУ

Осы жұмыста заманауи материалдардың зерттеулері жүргізіледі: бейорганикалық сцинтилляторлар (CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380), фото қабылдағыштар (әртүрлі фотокатодтары бар фотоэлектрондық көбейткіш) және шағылдырғыштар – гамма-сәулелерін тіркейтін сцинтилляциялық детекторлар негізін құрайтын, жоспарланып отырған тәжірибелердің шарттары бойынша R3B және EXL калориметрлік қондырғыларында көрсетілетін техникалық талаптарды қанағаттандырушы.

Кілт сөздер: гамма сәулесінің сцинтилляциялық детекторы, CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380 бейорганикалық сцинтилляторлар, ФЭК (фотоэлектрондық көбейткіштер), жарық жинағыш, энергетикалық рұқсат.

Summary

M. Dineikhan¹, D. M. Janseitov¹, D. T. Aznabaev², A. N. Issadykov¹, D. S. Valiolda¹

¹Al-Farabi Kazakh national university, Almaty Al Farabi,

²Frank Laboratory of neutron physics, JINR, Dubna, Russia)

INVESTIGATION OF SCINTILLATION DETECTORS, AIMED AT DETECTION OF PROTONS

($E < 200$ MEV) AND GAMMA RAYS ($E < 30$ MEV) IN THE PROJECT R3B AND EXL

Research of modern materials is conducted in the given work: inorganic scintillator (CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380), photodetectors (PMT with various photocathodes) and reflectors – the main components of gamma-ray scintillation detectors, in order to satisfy the technical requirements to the calorimeter systems R3B and EXL on conditions of the planned experiments.

Keywords: gamma-ray scintillation detector, an inorganic scintillator CsI(Tl), PreLude 420, BriLanCe 380 PMT R7600-100, XP4312, light collection, energy resolution.

Поступила 27.03.2013г.

