
МЕТОДИКА ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

ПРОТОТИП СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РАСШИРЕННОЙ ВЕРСИИ ПОДСИСТЕМЫ BBC В ДЕТЕКТОРЕ SPD

*А. В. Тищевский^{a, 1}, Ф. А. Дубинин^б, Ю. В. Гурчин^а, А. Ю. Икупов^а,
В. П. Ладыгин^а, Г. А. Нигматкулов^б, С. Г. Резников^а, П. Е. Тетерин^б,
И. С. Волков^а, А. М. Захаров^б*

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 141980, Россия

^б Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, 115409, Россия

Детектор спиновой физики (SPD) на коллайдере NICA предназначен для изучения спиновой структуры протона, дейtronа и других связанных со спином явлений с использованием поляризованных пучков при энергиях в системе центра масс до 27 ГэВ и светимостью до $10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Одной из подсистем начальной фазы эксперимента SPD является Beam-Beam Counter (BBC). BBC спроектирован как высокогранулированный сцинтилляционный детектор. Мы представляем испытания прототипа BBC расширенной конструкции. Обсуждаются первые полученные результаты.

The Spin Physics Detector (SPD) is an experimental facility at the NICA collider designed to study the spin structure of the proton, deuteron and other spin-related phenomena using polarized beams at energies in the center-of-mass system up to 27 GeV and luminosity up to $10^{32} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. One of the subsystems of the 1st phase of the SPD experiment is the Beam-Beam Counter (BBC). The BBC is designed as a highly granular scintillation detector. We present the tests of the prototype of the BBC extended design. The first results are obtained and discussed.

PACS: 29.40.Mc

ВВЕДЕНИЕ

Подсистема BBC в проекте TDR (Technical Design Report) SPD [1] включает в себя два «колеса» по 400 сцинтилляционных плиток в каждом, расположенных симметрично относительно точки взаимодействия. Подсистема BBC будет служить в качестве инструмента для диагностики пучка, включая локальную поляриметрию. Кроме того, ожидается, что высокая гранулярность позволит расширить возможности применения BBC, в частности, для восстановления плоскости реакции в ионной физической программе.

Стало возможным увеличение количества сцинтилляционных плиток в центральной области каждого «колеса» за счет уменьшения диаметра трубы ионопровода.

¹E-mail: tishevskiy@jinr.ru

В обновленном дизайне колеса будет, как и ранее, разбито на 16 секторов. В каждом секторе предполагается 26 изолированных сцинтилляционных плиток, схема представлена на рис. 1, слева. Таким образом, полное колесо будет содержать 416 сцинтилляционных плиток, в связи с чем разработка сцинтилляционного прототипа является актуальной задачей.

ПРОТОТИП СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА

Стартовым этапом производства детектора является создание прототипа. Ранее был проведен цикл исследований [2], посвященных выбору оптимальных материалов для прототипа. Наиболее перспективными оказались сцинтилляционные плитки, изготовленные предприятием «Юнипласт» (Владимир). Основным вариантом оптического клея стал СКТН марки Е. В качестве компромиссного решения между стоимостью, доступностью и оптическими характеристиками утверждено спектросмещающее волокно (WLS) производителя Saint-Gobain Crystals BCF92S.

На основании выбранных материалов был разработан прототип (см. рис. 1, справа). Прототип выполнен в виде двух секторов по 8 плиток в каждом, расположенных на основе из углепластика толщиной 5 мм. Для выводов WLS были профрезерованы канавки. Коммутация реализована одноканальным подключением к SiPM SensL SMTPA FC-10035 посредством разработанного нами разъема.

В качестве основного решения для первичной электроники (FEE) с встроенным источником питания был принят модуль DT5202, входящий в состав системы CAEN FERS-5200. Одним из главных преимуществ этой системы является возможность работы в режиме потокового сбора данных без триггера (free streaming mode), что чрезвычайно перспективно как для «нулевой» фазы, так и для последующих экспериментов с BBC для SPD.

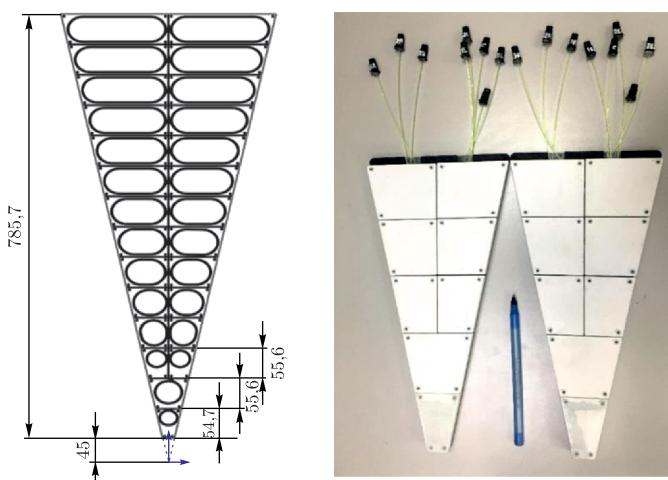


Рис. 1. Расширенный дизайн сектора (слева). Прототип детектора (справа)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ОБОРУДОВАНИЕ И УСЛОВИЯ ТЕСТОВ

Одним из важных этапов стал набор данных в отсутствие внешнего триггера. Модуль DT5202 объединяет две микросхемы Citroc 1A и обеспечивает в общей сложности 64 канала первичной электроники. Каждый канал может генерировать сигнал самозапуска (self-triggering), когда импульс после быстрого формирователя пересекает настраиваемый порог. Далее сигнал с каждого канала обрабатывается на уровне встроенного программного обеспечения (firmware) для создания логического триггера. Одной из логических функций является AND2_OR32, где срабатывания последовательных каналов (например, канал 0 и канал 1) передаются логическому оператору AND, затем 32 выходных сигнала передаются логическому оператору OR. Таким образом, требуется совпадение двух каналов в рамках одной из микросхем Citroc 1A. Использование совпадений сигналов верхней и нижней пластин предпочтительно для тестиования логики запуска и начала работ для изучения free streaming mode.

В этой связи коммутация SiPM к каналам DT5202 (рис. 2, справа) производилась исходя из описанной выше логики. Были использованы каналы от 0 до 15, где 1-й сектор (нижний) коммутировался к четным номерам, 2-й сектор (верхний) коммутировался к нечетным номерам. Прототипы располагались один над другим на протяжении всех тестов (рис. 2, слева).

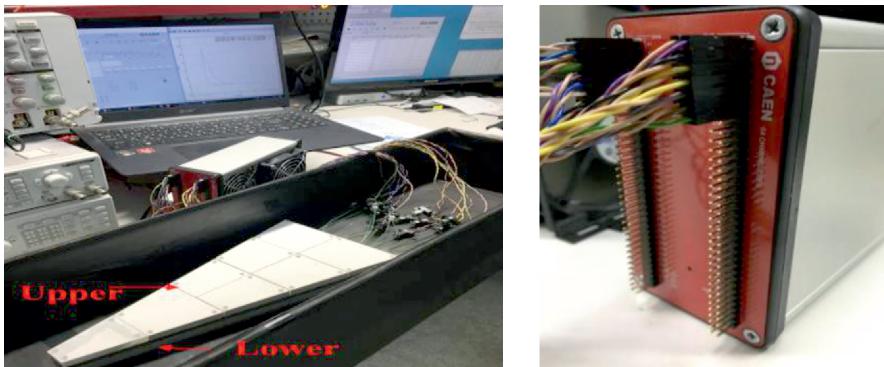


Рис. 2. Экспериментальная установка (слева). Коммутация SiPM к DT5202 (справа)

Для калибровки SiPM был использован предложенный ранее метод [3], а полученные напряжения были использованы для последующих испытаний на космических лучах. Средние значения напряжений смещения были в пределах $(27,95 \pm 0,15)$ В. Тесты проводились при температуре (25 ± 1) °C. Сбор данных осуществлялся посредством DAQ «Janus», предоставляемого CAEN для FERS-5202. Полученные данные обработаны с помощью фреймворка FersRun [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Протестирован сцинтилляционный прототип детектора с использованием космических лучей. Выполнен анализ амплитудных спектров для каждой плитки, для 2-го сектора они представлены на рис. 3, а и б. Здесь оси абсцисс представлены в ка-

налах электроники. Спектры фитированы сверткой распределений Ландау и Гаусса, результаты представлены в табл. 1 и 2. Полученные значения, в рамках отдельных секторов, находятся в разумном согласии с зависимостью от радиусов изгиба WLS и площади плиток для каждого ряда.

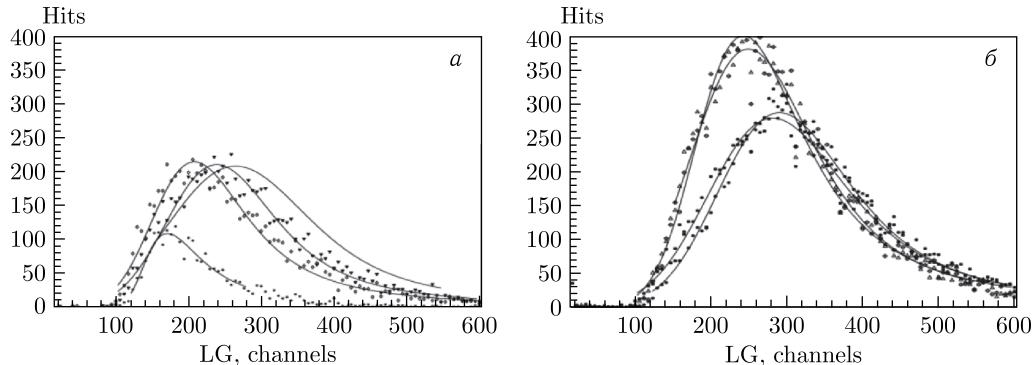


Рис. 3. Амплитудные спектры для 2-го сектора: 0, 1-й и 2-й ряды (а), 3-й и 4-й ряды (б)

Таблица 1. Средние значения, стандартное отклонение и количество событий для 1-го сектора

| Параметр | Ряд (SiPM) | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 0 (0) | 1 (2) | 2 (4) | 2 (6) | 3 (8) | 3 (10) | 4 (12) | 4 (14) |
| Среднее значение | 160,7 | 250,5 | 224,4 | 225,6 | 272,6 | 316,5 | 317,5 | 296,0 |
| Стандартное отклонение | 93,0 | 162,8 | 186,8 | 192,7 | 193,6 | 243,0 | 227,4 | 227,2 |
| Количество событий | 5000 | 17000 | 10000 | 11000 | 17000 | 17000 | 21000 | 20000 |

Таблица 2. Средние значения и стандартное отклонение для 2-го сектора

| Параметр | Ряд (SiPM) | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 0 (1) | 1 (3) | 2 (5) | 2 (7) | 3 (9) | 3 (11) | 4 (13) | 4 (15) |
| Среднее значение | 171,0 | 264,8 | 223,7 | 208,1 | 281,6 | 290,7 | 257,6 | 249,3 |
| Стандартное отклонение | 100,9 | 234,5 | 182,4 | 159,4 | 224,2 | 213,7 | 176,4 | 196,5 |

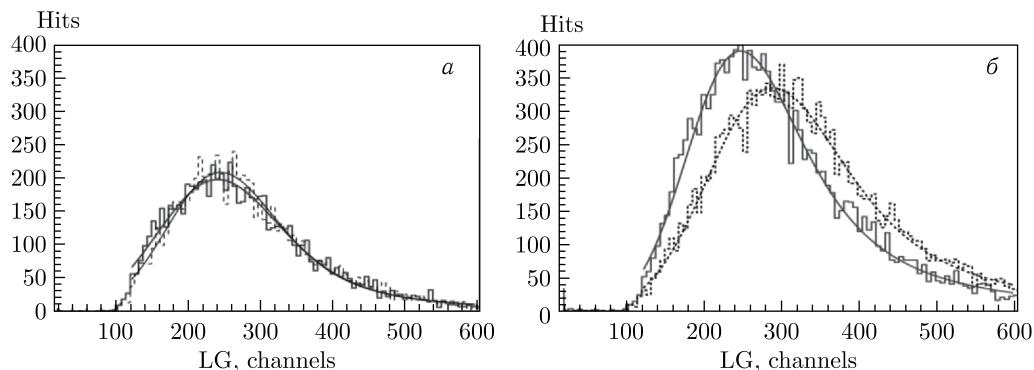


Рис. 4. Амплитудные спектры разных секторов: 2-й ряд (а), 4-й ряд (б)

В случае сравнения срабатываний одинаковых пар разница средних значений находится в диапазоне от 3,0 до 16,2 %. Представлены граничные случаи для сигналов с пар совпадающих (рис. 4, *a*) и не совпадающих (рис. 4, *b*). Пунктирная линия — спектры для тайлов 2-го сектора.

В целом, при сравнении средних значений для сигналов между секторами разница не превышает 6 %, что неплохо для описанной сборки прототипа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан прототип сцинтилляционного детектора для расширенного дизайна подсистемы ВВС со считыванием на базе модуля DT5202 системы CAEN FERS-5200.

Особенностью данной системы является возможность работы в режиме потокового сбора данных при отсутствии внешнего триггера (free streaming mode). В рамках начального этапа работ в указанном режиме на космических лучах были протестированы два сектора по 8 каналов в каждом. В основе тестирования лежит формирование логики запуска (self-triggering) парными совпадениями срабатываний физических каналов электроники. Данная опция показала работоспособность, а набранные данные полезны для оценки качества собранного прототипа.

Проанализированные данные указывают на среднюю разницу между секторами прототипа, не превышающую 6 %. Вместе с тем, при сравнении одинаковых пар, были выявлены случаи с разницей средних значений до 16,2 %. Данные случаи несистематические и допускаются при отладке массового производства плиток. Кроме того, использование многоканальных разъемов должно исключать возможные проблемы одиночных разъемов.

Благодарности. Работа поддержана грантом для молодых научных сотрудников № 24-101-07 и Министерством науки и высшего образования РФ, проект № FSWU-2025-0014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abazov V.M. et al. (*SPD Collab.*). Technical Design Report of the Spin Physics Detector. arXiv:2404.08317. 2024.
2. Zakharov A.M., Dubinin F.A., Isupov A.Yu., Ladygin V.P., Manakonov A.D., Nigmatkulov G.A., Reznikov S.G., Teterin P.E., Tishevsky A.V., Volkov I.S., Zhurkina A.O. Tile Detector Configurations Testing for the SPD Beam–Beam Counter Prototype // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21, No. 4. P. 735–738.
3. Tishevsky A.V., Dubinin F.A., Isupov A.Yu., Ladygin V.P., Nigmatkulov G.A., Reznikov S.G., Teterin P.E., Volkov I.S., Zakharov A.M., Zhurkina A.O. Development of the SPD Beam–Beam Counter Scintillation // Phys. At. Nucl. 2024. V. 87, No. 4. P. 450–457.
4. Tishevsky A.V., Dubinin F.A., Isupov A.Yu., Ladygin V.P., Nigmatkulov G.A., Reznikov S.G., Teterin P.E., Volkov I.S., Zakharov A.M. The SPD Beam–Beam Counter Scintillation Detector Prototype Tests with FERS 5200 Front-End Readout System // Phys. Part. Nucl. Lett. 2024. V. 21, No. 4. P. 723–726.

Получено 7 апреля 2025 г.