

ПРОТОТИП ТРЕКОВОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ МАТРИЦ SiPM

*В. В. Устинов¹, О. В. Кутинова, Д. Г. Сакулин,
Е. В. Сухов, Д. В. Устинов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна
Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

Разработан прототип трекового сцинтилляционного детектора. В основе детектора лежит кубический пластиковый сцинтиллятор размером $100 \times 100 \times 100$ мм. Детектор необходим для получения трека частицы с помощью матрицы SiPM. Описана методика измерений, экспериментальные стенды, а также результаты, полученные в ходе исследований.

A prototype of a track scintillation detector has been developed. The detector is based on a cubic plastic scintillator with dimensions of $100 \times 100 \times 100$ mm. The detector is necessary to obtain an image of the particle track using an array of SiPM photodetectors. The measurement methodology, the experimental stand, as well as the results obtained during the research are described.

PACS: 29.40.Mc

ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ разрабатывается детектор на основе жидкого ксенона (LXe). Детектор представляет собой цилиндрический сосуд с окошками для регистрации сцинтилляционных вспышек в объеме детектора и восстановления координатной информации. На данном этапе планируется создать однофазный детектор с чувствительным объемом 0,5 л жидкого ксенона, после чего предполагается выполнить масштабирование детектора. Назначением разрабатываемого LXe-детектора является регистрация нейтральных частиц путем регистрации ядер отдачи как, например, в экспериментах по поиску темной материи XENONnT (Италия), LUX-ZEPLIN (США) или PandaX (Китай). Для точного восстановления топологии событий необходим позиционно-чувствительный фотоэлемент. Выполнение данной задачи возможно с помощью матриц из кремниевых фотоумножителей SiPM (Silicon photomultipliers).

Для отработки методики съема света и восстановления координатной информации с монолитных сцинтилляторов и проверки системы, описанной в работе [1], разработан прототип трекового сцинтилляционного детектора. В основе детектора лежит кубический пластиковый сцинтиллятор размером $100 \times 100 \times 100$ мм из полистирола.

¹E-mail: ustinov@jinr.ru

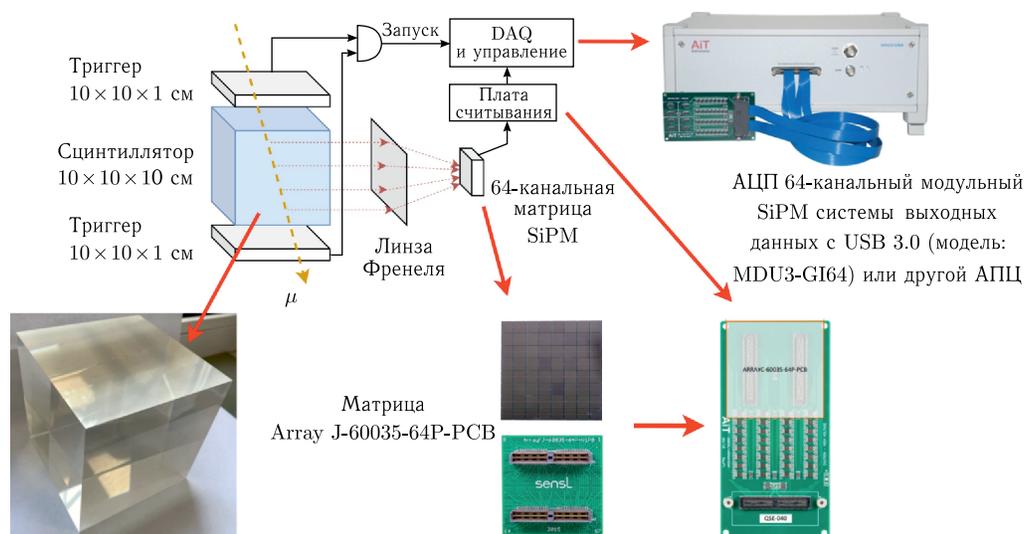


Рис. 1. Прототип детектора для получения трека сцинтилляций

В качестве позиционно-чувствительного элемента в прототипе детектора была использована 64-канальная матрица SiPM Onsemi AgarayJ-60035-64P-PCB [2] 8×8 фотоприемников SiPM. Излучение заряженной частицы, проходящей через активную часть детектора (сцинтиллятор), должно фокусироваться и проецироваться на матрицу (рис. 1) через оптическую систему (линзу) предположительно в виде трека. Информация о сработавших ячейках с матрицы записывается в систему сбора данных (АЦП).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД И ПОДГОТОВКА К ИССЛЕДОВАНИЯМ

В качестве оптической системы для фокусировки света со сцинтиллятора на фотоприемник в разных измерениях использовалась либо тонкая пластиковая линза Френеля, либо выпуклая стеклянная линза. Для проведения измерений был создан универсальный светоизолированный экспериментальный стенд. В измерениях с использованием линзы Френеля с фокусным расстоянием $F \approx 35$ см свет собирался на фотоэлектронный умножитель ФЭУ-87 диаметром фотокатода 20 мм. Сцинтиллятор, выступающий в качестве источника света, удалялся на расстояние $2F$ от линзы, а ФЭУ помещался в фокальной плоскости линзы Френеля. Сцинтиллятор располагался между двумя триггерными счетчиками, включенными в схему совпадений. Сигналом для старта записи являлось совпадение сигналов на блоке электроники КАМАК 2СС-1511 с триггерных счетчиков. Запись сигналов осуществлялась на флэш-АЦП DRS4 Evaluation board V3.

Результатом первого этапа работ стала регистрация света со сцинтиллятора через линзу Френеля на ФЭУ-87. Из-за большого расстояния между источником излуче-

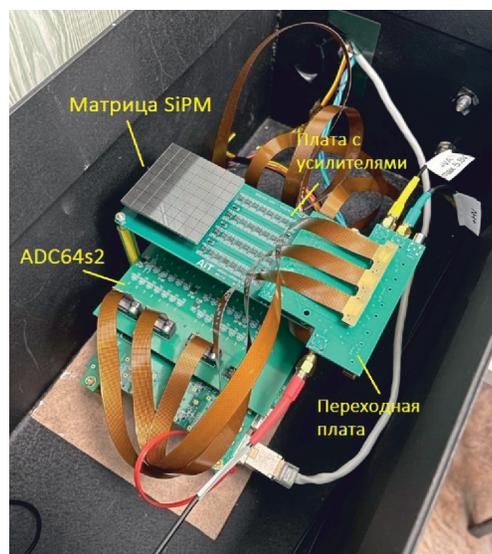


Рис. 2. Общий вид матрицы SiPM с установленной электроникой

единичных SiPM J-серии с активной площадью ячейки 6×6 мм и размером пикселей 35 мкм. Данная матрица устанавливалась на специальную печатную плату AV64L-ARRAY64P производства AiT Instruments [3]. На плате для каждого канала матрицы SiPM установлен индивидуальный усилитель сигнала, что позволяет значительно упростить использование матриц SiPM и не применять дополнительную электронику.

Для интеграции имеющейся электроники — аналого-цифрового преобразователя ADC64s2 [4] — была разработана переходная плата. Плата предназначена для подачи низковольтного питания на усилители сигналов и высоковольтного питания SiPM на матрицу, а также позволяет снимать выходные сигналы с 80-контактного разъема на выходе с усилителей на 9-канальные входы АЦП (суммарно 7 входов). Подключение АЦП и переходной платы осуществлялось с помощью гибких сигнальных кабелей. Общий вид матрицы со всей электроникой в сборе представлен на рис. 2.

КАЛИБРОВКА ПРОТОТИПА ТРЕКОВОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА

Перед измерениями матрица SiPM предварительно была откалибрована. Для калибровки матрицы был использован коллимированный источник света — пикосекундный лазер с максимумом на длине волны 455 нм. Свет от лазера засвечивал ряд вертикальных SiPM. Проверялся отклик каналов матрицы и их соответствие в программе визуализации на базе ROOT. Для большей надежности все остальные каналы матрицы изолировались черной бумагой (рис. 3). В результате проведенной калибровки был получен отклик от каждого отдельного ряда SiPM. На рис. 4 приведен пример

ния и фотоприемником полученные сигналы имели амплитуду меньшую, чем уровень шума ФЭУ. По проведенным расчетам согласно закону $I \sim 1/R^2$, где I — интенсивность света, R — расстояние, до фотоприемника доходит лишь небольшая часть света (менее 1%), рожденного в сцинтилляторе от проходящего мюона, что связано с потерями в большом телесном угле, а также с потерями света в линзе. На следующем этапе работы линза Френеля была заменена стеклянной выпуклой линзой диаметром 100 мм и $F = 15$ см. Использование относительно короткофокусной линзы дало на порядок больше света, регистрируемого ФЭУ.

Главным этапом работы является замена ФЭУ-87 на позиционно-чувствительную матрицу кремниевых фотоумножителей Onsemi ArgrayJ-60035-64P-PCB. Матрица представляет собой систему 8×8

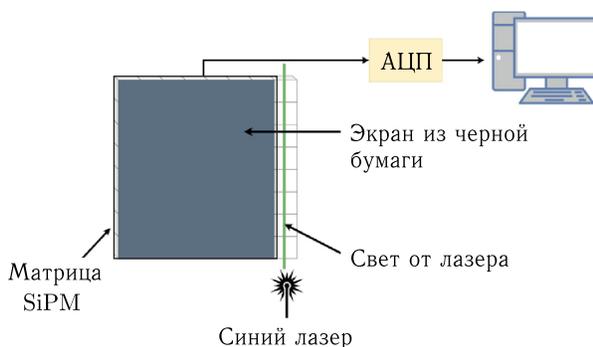


Рис. 3. Схема калибровки матрицы SiPM с помощью лазера

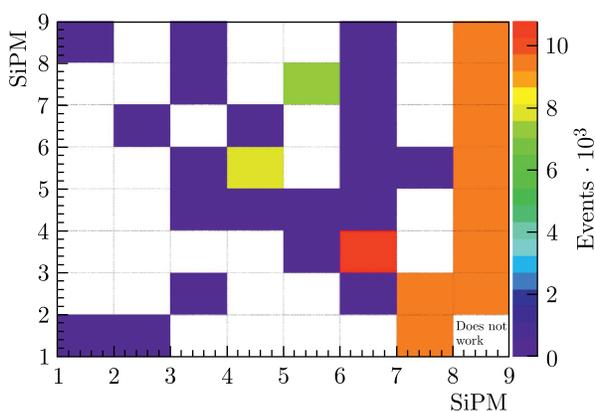


Рис. 4. Отклик матрицы SiPM на калибровочный сигнал от лазера

калибровки лазером. Как видно из рисунка, имеется соответствие сработавших каналов их графическому представлению. Срабатывания остальных ячеек обусловлено шумами самих SiPM и электроники, а также неплотной изоляцией двух ячеек соседнего ряда.

ПОЛУЧЕНИЕ МЮОННЫХ ТРЕКОВ СОЗДАННЫМ ПРОТОТИПОМ ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА

После калибровки матрицы были проведены измерения с выпуклой линзой согласно методике, описанной выше. На основе результатов измерений предварительно получены кандидаты в треки от прохождения мюонов (рис. 5). Однако амплитуда регистрируемых сигналов по-прежнему невелика. При этом значения шумов в каждом канале считывания в среднем составляют 15 отсчетов АЦП. Соотношение сигнал/шум в этом случае составляет около 2. Для уточнения полученных результатов были проведены измерения с выпуклыми стеклянными линзами разных диаметров и оптической силы. Результаты коррелируются между собой.

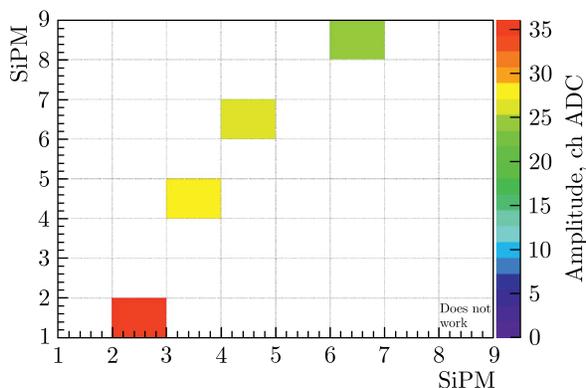


Рис. 5. Трек от прохождения мюона, полученный с помощью оптической системы

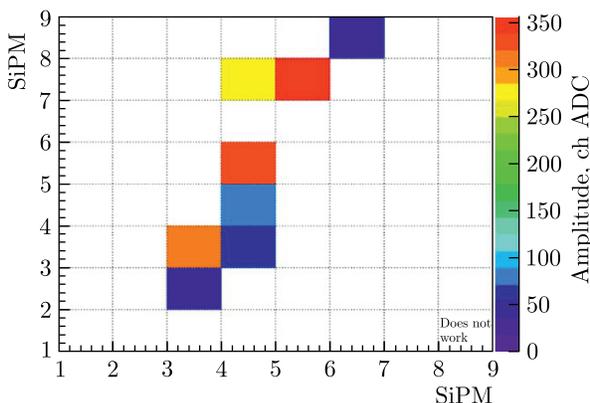


Рис. 6. Трек от прохождения мюона, полученный в прямом контакте матрицы и сцинтиллятора

В случае прямого контакта матрицы SiPM со сцинтиллятором без использования оптической системы наблюдаются сигналы значительно большей амплитуды по понятным причинам. Однако из-за отсутствия прецизионной фокусировки треки от прохождения мюона имеют большие флуктуации. Трек прохождения частицы в прямом контакте матрицы со сцинтиллятором представлен на рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан трековый детектор на основе монолитного сцинтиллятора и матрицы SiPM. В ходе исследований были использованы разные типы линз. Получить трек от прохождения мюона с помощью длиннофокусной линзы Френеля не представляется возможным. Получены треки с использованием выпуклых стеклянных линз.

В дальнейшем планируется улучшить детектор для получения двумерной координатной информации — создать двухплечевую сборку, а также исследовать систему с использованием короткофокусных линз Френеля с $F \approx 2-3$ см.

Коллектив авторов выражает благодарность канд. физ.-мат. наук Сергею Владимировичу Афанасьеву (ЛФВЭ ОИЯИ) за курирование данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янин А. Ф. и др. Разработка сцинтилляционного трекового детектора, основанного на многоканальных фотодетекторах // ЭЧАЯ. 2018. Т. 49, вып. 4. С. 1411–1423.
2. Матрица SiPM Onsemi SensL 8 × 8 ArrayJ-60035-64P-PCB. <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/arrayj-series-d.pdf> 3.
3. AiT Instruments: 64-канальная плата-усилитель для матрицы SiPM Onsemi. <https://www.ait-instruments.com/AB64LARRAY64P/ab64larray64p.htm>.
4. Аналого-цифровой преобразователь ADC64s2. <https://afi.jinr.ru/ADC64s2>.

Получено 1 февраля 2024 г.