

Прототип трекового сцинтилляционного детектора на основе матриц SiPM

*Устинов В.В.¹, Кутимова О.В., Сакулин Д.Г.,
Сухов Е.В., Устинов Д.В.
Ustinov V.V.¹, Kutinova O.V., Sakulin D.G.,
Sukhov E.V., Ustinov D.V.*

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Московская область,
141980, Россия

Государственный университет «Дубна», Дубна, Московская область, 141982,
Россия

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow region, 141980, Russia

Dubna State University, Dubna, Moscow region, 141982, Russia

Разработан прототип трекового сцинтилляционного детектора. В основе детектора лежит кубический пластический сцинтиллятор размером $100 \times 100 \times 100$ мм³. Детектор необходим для получения трека частицы с помощью матрицы SiPM. В работе описана методика измерений, описание экспериментальных стендов, а также результаты, полученные в ходе исследований.

¹ A prototype of a track scintillation detector has been developed. The detector is based on a cubic plastic scintillator with dimensions of $100 \times 100 \times 100$ мм³. The detector is necessary to obtain an image of the particle track using an array of SiPM photodetectors. The report contains a description of the measurement methodology, a description of the experimental stand, as well as the results obtained during the
2 research.

3 PACS: 29.40.Mc

4 Introduction

5 В Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ разрабатывается детектор
6 на основе жидкого ксенона (LXe). Детектор представляет собой цилиндриче-
7 ский сосуд с окошками для регистрации сцинтилляционных вспышек в объеме
8 детектора и восстановления координатной информации. На данном этапе пла-
9 нируется создать однофазный детектор с чувствительным объемом 0.5 литра
10 жидкого ксенона, после чего предполагается выполнить масштабирование де-
11 тектора. Назначением разрабатываемого LXe-детектора является регистрация
12 нейтральных частиц путем регистрации ядер отдачи, например, как в экспери-
13 ментах по поиску темной материи XENONnT (Италия), LUX-ZEPLIN (США)
14 или PandaX (Китай). Для точного восстановления топологии событий необ-
15 ходим позиционно-чувствительный фотоэлемент. Выполнение данной задачи

¹E-mail: ustinov@jinr.ru

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 пластический сцинтиллятор размером $100 \times 100 \times 100$ мм³ из полистирола.

В качестве позиционно-чувствительного элемента в прототипе детектора была использовалась 64-канальная матрица SiPM Onsemi ArrayJ-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).

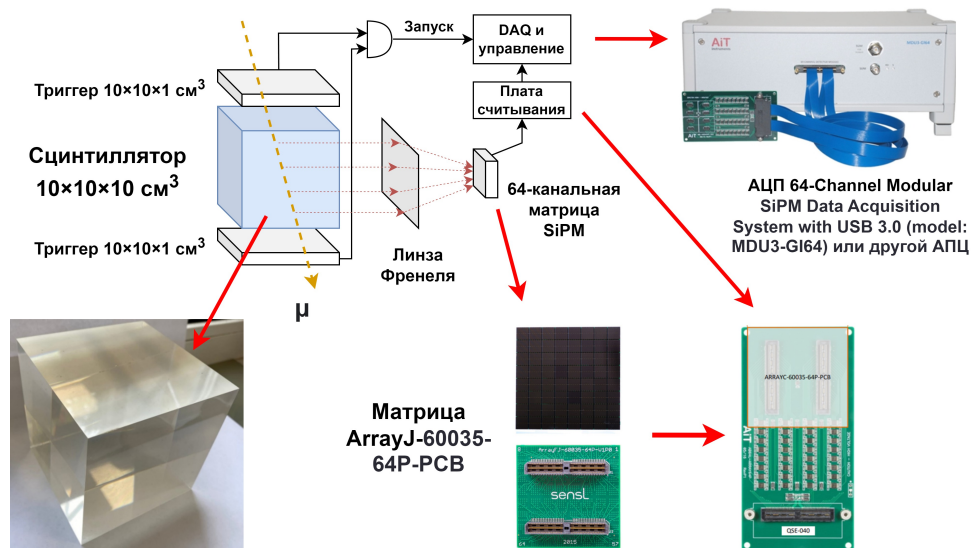


Рис. 1. Прототип детектора для получения трека сцинтилляций

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 с 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 счётчиками, включенных 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 излучения 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 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 ArrayJ-60035-64P-PCB. Матрица представляет собой систему 8×8 единичных SiPM J-серии с активной площадью ячейки 6×6 мм² и размером пикселей 35 мкм. Данная матрица устанавливалась на специальную печатную плату AB64L-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 использовать дополнительную электронику.

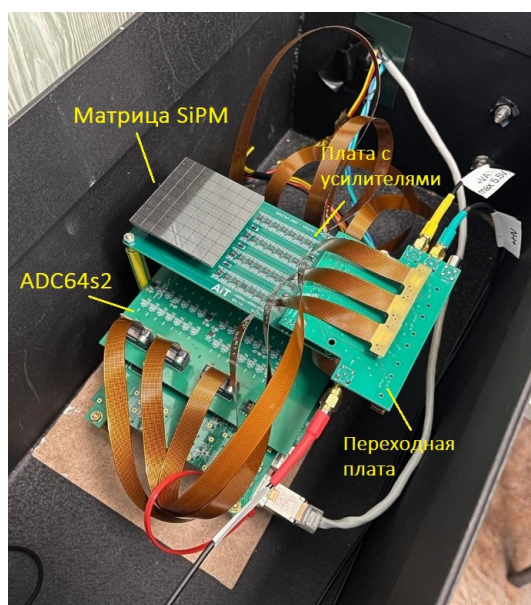


Рис. 2. Общий вид матрицы SiPM с установленной электроникой

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 рисунке 2.

71 Калибровка прототипа трекового сцинтилляционного детектора

72 Перед измерениями матрица SiPM предварительно была откалибрована.
 73 Для калибровки матрицы был использован коллимированный источник света
 74 – пикосекундный лазер с максимумом на длине волны 455 нм. Свет от лазера
 75 засвечивал ряд вертикальных SiPM. Проверялся отклик каналов матрицы и их
 76 соответствие в программе визуализации на базе ROOT. Для большей надеж-
 77 ности все остальные каналы матрицы изолировались черной бумагой (рис. 3).
 78 В результате проведенной калибровки был получен отклик от каждого отдель-
 79 ного ряда SiPM. На рис. 4 приведен пример калибровки лазером. Как видно из
 80 рисунка имеется соответствие сработавших каналов с их графическим пред-
 81 ставлением. Срабатывания остальных ячеек обусловлено шумами самих SiPM
 82 и электроники, а также неплотной изоляцией двух ячеек соседнего ряда.

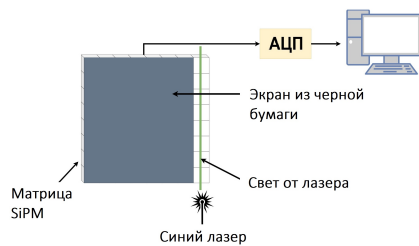


Рис. 3. Схема калибровки матрицы SiPM с помощью лазера

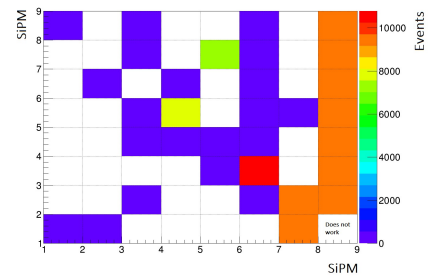


Рис. 4. Отклик матрицы SiPM на калибровочный сигнал от лазера

83 Получение мюонных треков созданным прототипом трекового 84 детектора

85 После проведения калибровки матрицы, были проведены измерения с вы-
 86 пуклой линзой согласно методике, описанной выше. На основе результатов
 87 были предварительно получены кандидаты в треки от прохождения мюонов
 88 (рис. 5). Однако амплитуда регистрируемых сигналов по-прежнему не велика.
 89 При этом значения шумов в каждом канале считывания в среднем состав-
 90 ляют 15 отсчетов АЦП. Соотношение сигнал/шум в этом случае составляет
 91 около 2. Для уточнения полученных результатов были проведены измерения
 92 с выпуклыми стеклянными линзами разных диаметров и оптической силы.
 93 Результаты коррелируются между собой.

94 В случае прямого контакта матрицы SiPM со сцинтиллятором без исполь-
 95 зования оптической системы наблюдаются сигналы значительно большей ам-
 96 плитуды по понятным причинам. Однако из-за отсутствия прецизионной фо-
 97 кусировки треки от прохождения мюона имеют большие флуктуации. Трек
 98 прохождения частицы в прямом контакте матрицы со сцинтиллятором пред-
 99 ставлен на рисунке 6.

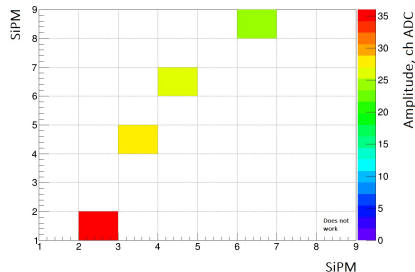


Рис. 5. Трек от прохождения мюона, полученный с помощью оптической системы

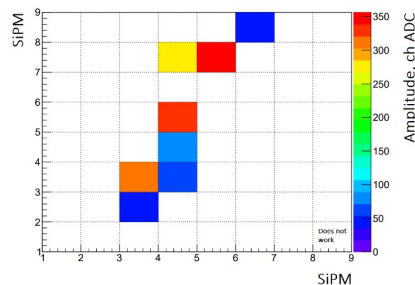


Рис. 6. Трек от прохождения мюона, полученный в прямом контакте матрицы и сцинтиллятора

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. Были получены треки с использованием выпуклых стеклянных линз.

В дальнейшем планируется улучшить детектор для получения двухмерной координатной информации – создать двух-плечевую сборку, а также исследовать систему с использованием короткофокусных линз Френеля с $F \approx 2 \div 3$ см.

Коллектив авторов выражает благодарность к.ф.-м.н. Афанасьеву Сергею Владимировичу (ОИЯИ ЛФВЭ) 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. СС. 1411-1423.
2. Матрица SiPM Onsemi SensL 8×8 ArrayJ-60035-64P-PCB. URL: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/arrayj-series-d.pdf> 3
3. AiT Instruments: 64-канальная плата-усилитель для матрицы SiPM Onsemi. URL: https://www.ait-instruments.com/AB64L_ARRAY64P_p/ab64larray64p.htm
4. Аналого-цифровой преобразователь ADC64s2. URL: <https://afi.jinr.ru/ADC64s2>