

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТОТИПОВ СТРОУ-ТРЕКЕРА ДЕТЕКТОРА SPD

**С. Ромахов^{1*}, В.В. Баутин¹, А.В. Лапкин², Е.В. Кузнецова³, Д.Е. Соснов³,
Т.Л. Еник¹, К.М. Саламатин¹**

¹Лаборатория физики высоких энергий им. Векслера и Балдина, Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²Лаборатория ядерных проблем им. Дзелепова, Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

³Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия
e-mail: romakhov@jinr.ru

Строу-трекеры широко используются в экспериментах физики высоких энергий благодаря малому вкладу в радиационную длину, механической простоте и относительно низкой стоимости. Каждая трубка работает как тонкостенная дрейфовая камера, обеспечивая точное измерение координаты трека. Современные строу-трубки обычно изготавливаются из тонких полимерных плёнок (Kardon или Mylar) с толщиной стенки от 12 мкм до 40 мкм в зависимости от требований к механической прочности и условиям эксплуатации [1]. В центре трубки натянута тонкая анодная проволока, а её объём заполнен двух- или трёхкомпонентной газовой смесью. Такие трека применяются в ряде крупных установок, например в эксперименте NA62 [2], а также часто рассматриваются для будущих экспериментов.

Представленная работа посвящена пучковым испытаниям и исследованию характеристик прототипов строу-трекера детектора SPD [3]. Программа измерений преследует две основные цели. Первая — измерение зависимости времени дрейфа электронов от радиуса трубки для оценки пространственного разрешения трубок. Вторая — измерение удельных ионизационных потерь энергии (dE/dx), являющееся основой для идентификации частиц (PID). Эти задачи требуют различных режимов формирования сигнала фронт-энд электроникой, что обуславливает необходимость систематического сравнения доступных систем считывания.

Экспериментальная установка объединяет детекторы микромегас и кремниевый пиксельный детектор Titerix4 [4], формирующие референсную трековую систему, а также сцинтилляционные счётчики, формирующие референсное время (T_0). Все подсистемы считываются с помощью нескольких независимых систем сбора данных (DAQ). В рамках установки исследованы два типа прототипов. Первый — комбинированный прототип, содержащий три двойных слоя трубок диаметром 5, 10 и 20 мм. Эти диаметры соответствуют параметрам трека будущих экспериментов: 5 мм для DUNE [4], 10 мм для SPD [3] и 20 мм для SHiP [5], что позволяет проводить прямое сравнение их характеристик в

одинаковых условиях. Второй прототип воспроизводит геометрию SPD и реализует стереоконфигурацию слоев в виде XUVX структуры, где слои U ориентированы под углом $+2^\circ$, а слои V под углом -2° относительно прямого направления X.

Установка разработана в 2022 году и используется в пучковых экспериментах на ускорителях SPS и PS CERN. На SPS использовался мюонный пучок с энергией 75–150 ГэВ для исследования пространственного разрешения и временных характеристик с использованием микромегас и Timerix4 в качестве референса. На PS применялись вторичные пучки для измерения dE/dx в диапазоне импульсов 500 МэВ/с – 2 ГэВ/с для пионов и электронов. В качестве референсного трекера вместо микромегас использовался кремниевый телескоп AZALEA [6].

Исследуется широкий диапазон параметров работы: напряжения, пороги, параметры формирования сигнала, состав газа и давление. Пост-обработка набранных данных из разных подсистем (DAQ) позволяет исследовать зависимость характеристик исследуемых прототипов от указанных выше параметров. На рис. 1 показан пример объединения данных системы STM-VMM (время дрейфа в трубке) и Timerix4 (координата трека) по событиям для исследования зависимости радиуса строу-трубки от времени прихода сигнала – RT-кривая.

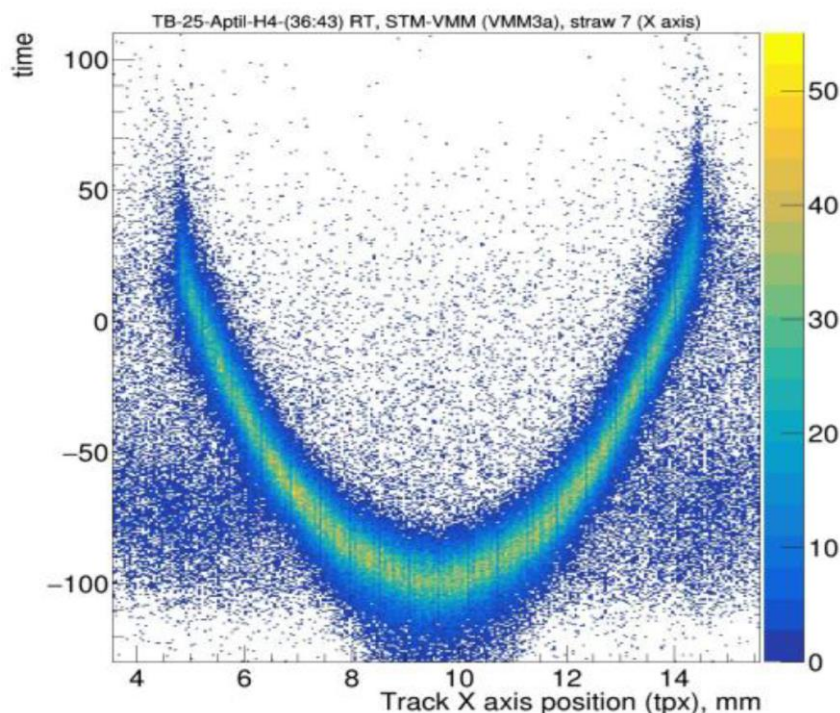


Рисунок 1. Измеренная RT-кривая для строу-трубки диаметром 10 мм

Разработана и введена в эксплуатацию гибкая пучковая установка, объединяющая прототипы строу-детекторов, микромегас и Timerix4 с независимыми системами считывания. Реализованная гибридная установка обеспечивает точные измерения характеристик прототипов в зависимости от параметров электроники. Работы на тестовых пучках SPS и PS позволили получить обширные данные, которые используются для определения пространственного и зарядового разрешения. Результаты анализа будут использованы для оптимизации электроники считывания и рабочих параметров строу-трекера SPD.

Литература

1. Bautin V. et al. Ultrasonic welding technology for future Straw Trackers and performance studies with small-size tracker prototypes //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2025. – С. 170767.
2. Danielsson H. Performance and operation of the straw detector in the NA62 rare kaon decay experiment //2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC). – IEEE, 2015. – С. 1-4.
3. Abazov V. et al. Technical design report of the spin physics detector at NICA //arXiv preprint arXiv:2404.08317. – 2024.
4. Brau J. et al. Lycoris—A large-area, high resolution beam telescope //Journal of Instrumentation. – 2021. – Т. 16. – №. 10. – С. P10023. Hewes V. et al. Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) Near Detector Conceptual Design Report, Instruments 5 (2021) 31 //arXiv preprint arXiv:2103.13910.
5. Anelli M. et al. A facility to Search for Hidden Particles (SHiP) at the CERN SPS //arXiv preprint arXiv:1504.04956. – 2015.

6. Brau J. et al. Lycoris—A large-area, high resolution beam telescope //Journal of Instrumentation. – 2021. – T. 16. – №. 10. – C. P10023.