

ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 529.1.074.2

ПРОТОТИП ТРЕКЕРА
НА ОСНОВЕ КАТОДНЫХ СТРОУ-ТРУБОК

© 2018 г. В. А. Баранов^а, Н. А. Босак^б, Л. Е. Ботай^б, В. Н. Дугинов^а, **Ф. Е. Зязюля^с**,
А. О. Колесников^а, **А. С. Коренченко^а**, Н. П. Кравчук^{а,*}, Н. А. Кучинский^а,
А. С. Лобко^с, О. В. Мисевич^с, С. А. Мовчан^а, В. С. Смирнов^а, Н. В. Хомутов^а, В. А. Чеховский^с

^а Объединенный институт ядерных исследований
Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, 6

^б Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
Беларусь, 220072, Минск, Проспект Независимости, 68

^с Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета
Беларусь, 220030, Минск, ул. Бобруйская, 11

*e-mail: kravchuk@jinr.ru

Поступила в редакцию 20.10.2017 г.

Создан и протестирован прототип 2D-детектора на основе разработанных авторами строу-трубок с катодным считыванием. Описанный детектор обладает сравнимыми точностями определения радиальной и продольной координат. Его загрузочные характеристики близки к характеристикам детекторов с использованием трубок вдвое меньшего диаметра.

DOI: 10.1134/S0032816218050038

Тонкостенные дрейфовые трубки – строу (straw) широко используются в настоящее время для создания координатных детекторов – трекеров. Такие детекторы обладают рядом преимуществ: высоким радиальным пространственным разрешением, простой модульной конструкцией и соответственно более низкой стоимостью. Кроме того, цилиндрическая геометрия обеспечивает хорошие механические свойства при малой массе. Каждая трубка является самодостаточной и при отказе одной из них работа оставшихся не нарушается. Основной проблемой при использовании строу-детекторов является то, что точно определяется только радиальная координата по времени дрейфа (100–200 мкм). Определение продольной координаты (вдоль анодной проволоочки) в отдельно взятой трубке возможно с точностью, намного уступающей радиальной точности (деление токов [1] и время распространения сигналов на аноде [2]), и составляет сантиметры.

Нами предложен [3–5] новый способ создания строу-детекторов с высокой загрузочной способностью и более точным определением продольной координаты Z (вдоль анодной проволоочки) в отдельной трубке, основанный на считывании сигналов с катода трубки методом “двойного клина” (double-wedge).

В данной работе описывается применение этой методики на примере прототипа трекера для

эксперимента Muon g-2 в FNAL (США, experiment E989) [6], где стоит задача перекрыть рабочую поверхность площадью $100 \times 100 \text{ мм}^2$ двухкоординатным детектором, обеспечив точность измерения координат $\pm 1 \text{ мм}$ при высоких нагрузках. Трекер должен работать в вакууме. Для регистрации трека по проекту предлагается применение стереометода, заключающегося в использовании в каждой станции трекера двух двойных плоскостей строу-трубок $\varnothing 5 \text{ мм}$, расположенных под углом 7.5° . Это обеспечивает точность определения продольной координаты 1.5 мм.

Предложено использовать для трекера разработанную нами методику детекторов “катодных” строу. Это позволяет при сохранении загрузочной способности трекера использовать трубки диаметром 10 мм. Такие трубки обладают лучшими рабочими характеристиками, чем 5-мм труб-

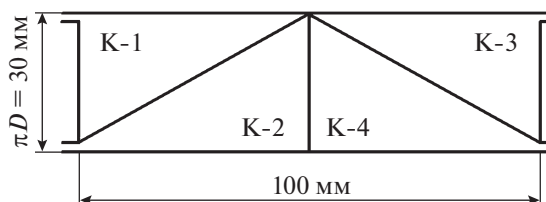


Рис. 1. Развертка катодного цилиндра трубки. К-1–К-4 – катодные сегменты.

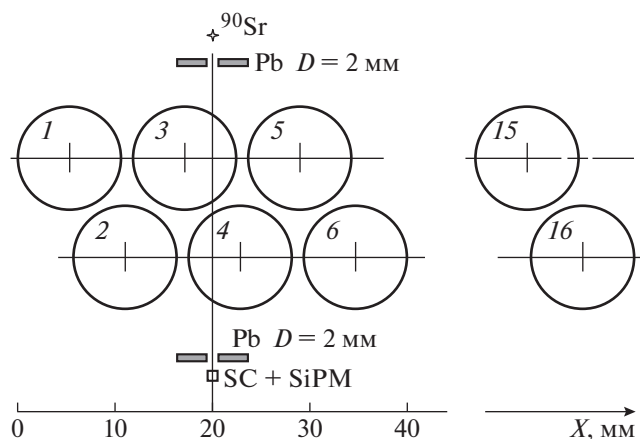


Рис. 2. Схема измерений. 1–16 – трубки.

ки, и проще в изготовлении. При этом полученная точность определения продольной координаты (<1 мм) сравнима с точностью радиальной. Радиальная координата измеряется стандартным методом по времени дрейфа. Общее количество трубок в одной станции трекера и каналов электроники уменьшается в 4 и 2 раза соответственно.

Съем информации с катодов строу-трубок применялся в ряде детекторов [7–9]. При этом наводимые сигналы считывались с использованием дополнительных внешних электродов. Это приводит к увеличению количества вещества в рабочем объеме. В нашем предложении количество вещества определяется в основном толщиной стенок трубки.

Развертка катодного цилиндра строу-трубки для прототипа трекера показана на рис. 1. Нами использовались трубки, сделанные из односторонне металлизированного лавсана (майлара) толщиной 36 мкм. Металлизация двуслойная: медь и золото толщиной 0.05 и 0.02 мкм соответственно. Сопроотивление проводящего покрытия 40 Ом/□. Внутренний катод в центре был разделен на две электрически изолированные поверхности, которые в свою очередь электрически разделены по диагонали. Сигналы с каждой катодной поверхности независимо считывались с торцов трубки. Поперечные разрезы в металлизации на ленте, из которой изготавливались трубки, делались предварительно по методике, предложенной в работе [10]. Технология изготовления трубок способом ультразвуковой сварки ленты подробно описана в работе [11]. Такая трубка выдерживает внутреннее давление до 8 атм при утечках рабочей смеси из трубки <0.001 см³/мин. Это полностью удовлетворяет условиям работы в вакууме.

Разбиение катода на две зоны по длине и “двойной клин” в каждой зоне обеспечивают:

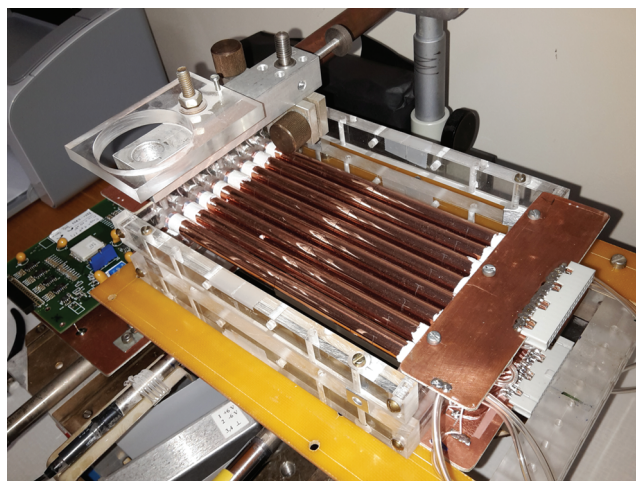


Рис. 3. Прототип трекера на стенде.

- загрузочные характеристики эквивалентные трубке $\varnothing 5$ мм;
- точность измерения координаты вдоль трубки <1 мм;
- уменьшение количества вещества за счет использования двух слоев трубок вместо четырех;
- простоту вывода сигналов на каналы регистрации с четырех катодных зон через фланцы детектора.

Трубки в прототипе располагаются параллельно в два слоя. Схема измерения и взаимное расположение трубок показаны на рис. 2. Триггерная часть состоит из источника ^{90}Sr , двух свинцовых коллиматоров с отверстием $\varnothing 2$ мм и сцинтиллятора $2 \times 2 \times 6$ мм³ (SC), подсоединенного к фотоприемнику (SiPM).

Ниже приведены результаты испытания прототипа трекера для эксперимента Муон g-2, выпол-

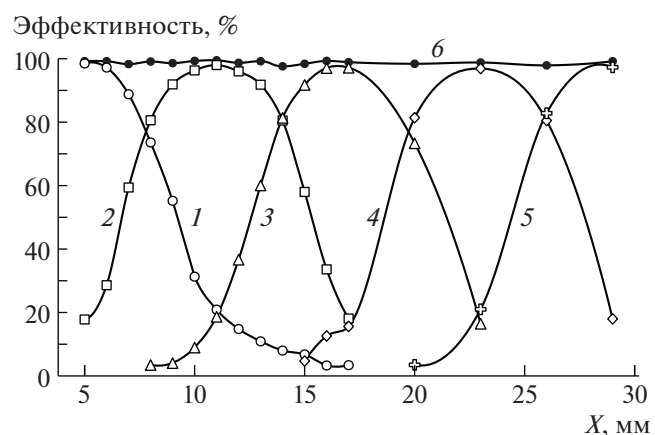


Рис. 4. Эффективность станции трековой системы при перемещении источника поперек трубок: 1–5 – для первых пяти трубок; 6 – общая эффективность.

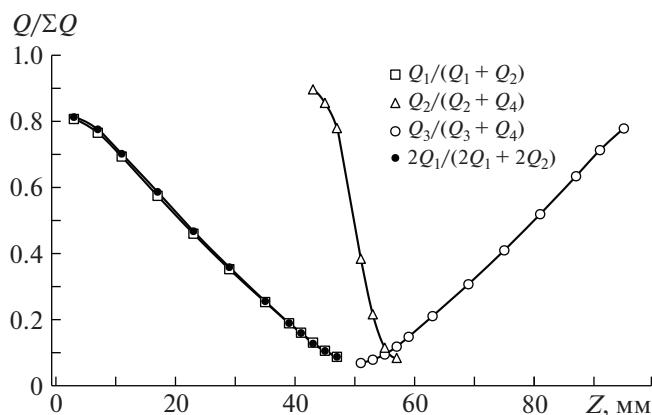


Рис. 5. Отношение зарядов на одном катодном сегменте к сумме двух при перемещении источника вдоль трубки (Z) и фиксированном X . Сигналы с трех соседних трубок (1, 3 и 5 на рис. 2) при облучении средней.

ненные на стенде. Стенд (рис. 3) позволяет перемещать сборку из трубок относительно источника и триггерной системы с точностью 0.01 мм по двум направлениям: вдоль (Z) и поперек (X).

При перемещении вдоль осей X и Z в каждой точке записывались события с информацией с анода и четырех катодных сегментов трубок (К-1–К-4 на рис. 1), сигналы с которых оцифровывались блоком CAEN V1720 с частотой дискретизации 250 МГц [12]. Аппаратура позволяет работать с амплитудой или зарядом каждого сигнала.

Из рис. 4 видно, что общая эффективность регистрации двух слоев трубок равна 99%. Для увеличения загрузки диаметр отверстия коллиматора был выбран равным 2 мм. Этим объясняется большая ширина распределений по отдельным трубкам. При определении продольной координаты событие анализировалось, если сигнал превышал установленный порог более чем в двух секторах катода. По двум максимальным сигналам однозначно определяется координата места прохождения трека через детектор – Z .

лам однозначно определяется координата места прохождения трека через детектор – Z .

На рис. 5 приведены результаты первичной обработки информации, которые подтверждают, что координату Z можно однозначно определить на всей длине трубки.

На левой половине трубки ($Z=0–50$ мм) координата определялась по анализу сигналов с сегментов К-1 и К-2, на правой ($Z=50–100$ мм) – сегментов К-3 и К-4, в средней зоне – с сегментов К-2 и К-4.

На участке $Z=0–50$ мм приведены данные для двух трубок (1 и 2 на рис. 2): Q_1, Q_2 и $2Q_1, 2Q_2$. Видно их хорошее совпадение. На графиках не приведены ошибки, так как значение в каждой точке соответствовало математическому среднему значению распределения из 2000 событий.

Относительно близкое расположение трубок вызывает их взаимное влияние. При срабатывании трубки на катодах соседних с ней трубок появляются наведенные сигналы, которые могут исказить информационную картину. По расчетам увеличение расстояния между катодными цилиндрами от 0.2 до 2 мм уменьшает величину наводок в 5 раз. Дальнейшее увеличение этого расстояния не дает существенного уменьшения наводок и ограничивается потерей общей эффективности.

На рис. 6 приведены отношения зарядов на одном катодном сегменте к сумме двух, для трех соседних трубок, при перемещении источника по Z вдоль средней трубки. Корреляция между отношением зарядов и расстоянием вдоль трубки наблюдается только в облучаемой трубке. Видно, что для нашей геометрии, когда расстояние между катодными цилиндрами равно 2 мм, наводки пренебрежимо малы. Наведенные сигналы могут иметь разную природу и величину, они не связаны с развитием лавины в данной трубке. В то же время существует четкая зависимость величин сигналов на аноде и катодах от величины вызвавшей их лавины.

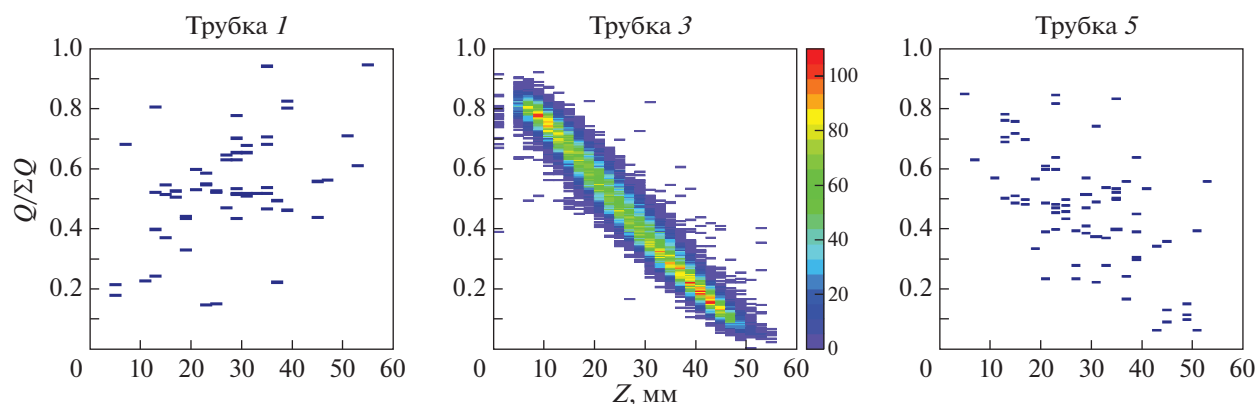


Рис. 6. Сигналы с трех соседних трубок (1, 3 и 5 на рис. 2) при облучении средней.

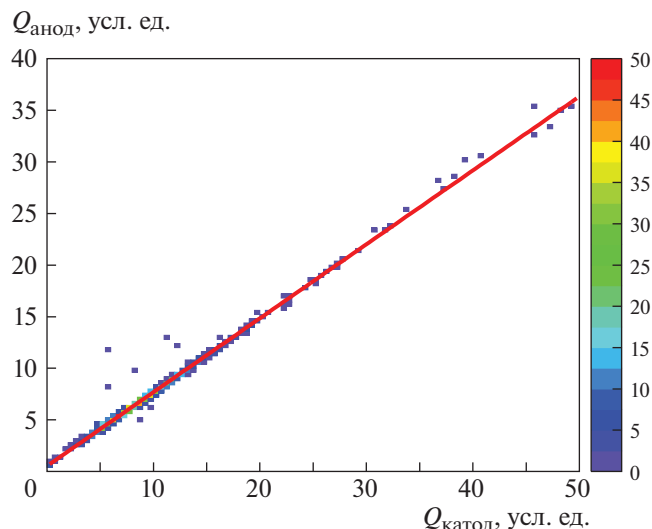


Рис. 7. Зависимость заряда на аноде к суммарному заряду на катодах в фиксированной точке.

На рис. 7 приведена зависимость заряда на аноде к суммарному заряду на катодах. Коэффициент отношения этих величин постоянен во всем диапазоне сигналов и зависит только от параметров регистрирующих электронных приборов и трубки. Это можно использовать для отфильтровывания ложных срабатываний катодов или случайных совпадений.

Перемещение источника поперек трубок (по X) позволяет сравнить измеренную каждой трубкой координату Z при зафиксированном по Z положении источника. Совпадение результатов, полученных для трех трубок верхнего ряда сборки, хорошо демонстрирует рис. 8.

Несимметричность графиков относительно проволоочки не связана с влиянием соседних трубок, так как наблюдается и на одиночных трубках. Она объясняется зависимостью соотношения сигналов на секторах катода от того с какой стороны на анодную проволоочку пришла лавина

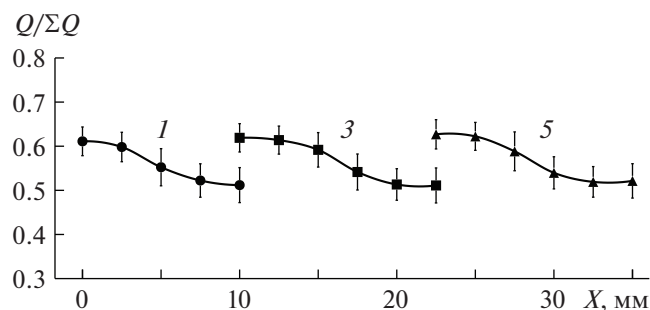


Рис. 8. Отношение зарядов на одном катодном сегменте к сумме двух при перемещении источника поперек трех трубок (1, 3 и 5 на рис. 2).

(рис. 2). Этот эффект вносит дополнительную ошибку ($\pm 5\%$) в точность определения Z -координаты, но его можно уменьшить, перейдя на режим работы с более симметричным охватыванием лавинной проволоочки (например, поменяв рабочий газ).

Таким образом продемонстрирована возможность создания трекеров с использованием “катодных строу” (строу с катодным считыванием). Такие детекторы имеют высокие нагрузочные характеристики при близких радиальной и продольной точностях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-02-00745 и гранта Белорусского ФФИ-ОИЯИ 2014–2016 годов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sokolov A., Ritman J., Wintz P. // Nucl. Instrum. and Methods. 2007. V. A574. P. 50. doi 10.1016/j.nima.2007.01.104
2. Vasilyev S.E., Makankin A.M., Myalkovskiy V.V., Peshkxonov V.D. arXiv.1301.6018
3. Кучинский Н.А., Баранов В.А., Дугинов В.Н., Зязюля Ф.Е., Коренченко А.С., Колесников А.О., Кравчук Н.П., Мовчан С.А., Руденко А.И., Смирнов В.С., Хомутов Н.В., Чеховский В.А., Лобко А.С., Мисевич О.В. // Письма в ЭЧАЯ. 2017. Т. 14. № 3(208). С. 286.
4. Кучинский Н.А., Баранов В.А., Зязюля Ф.Е., Коренченко А.С., Кравчук Н.П., Мовчан С.А., Смирнов В.С., Хомутов Н.В., Чеховский В.А. // ПТЭ. 2012. № 1. С. 35.
5. Кучинский Н.А., Баранов В.А., Дугинов В.Н., Зязюля Ф.Е., Коренченко А.С., Колесников А.О., Кравчук Н.П., Мовчан С.А., Руденко А.И., Смирнов В.С., Хомутов Н.В., Чеховский В.А. // ПТЭ. 2014. № 5. С. 41. doi 10.7868/S0032816214040077
6. G-2 Collaboration // FERMILAB-FN-0992-E. arXiv :1501.06868
7. Bychkov V.N., Golutvin I.A., Ershov Yu.V., Zubarev E.V., Ivanov A.B., Lysiakov V.N., Makhankov A.N., Mowchan S.A., Peshkxonov V.D., Preda T. // Nucl. Instrum. and Methods. 1993. V. A325. P. 158. doi 10.1016/0168-9002(93)91016-G
8. Takubo Y., Aoki M., Ishihara A., Ishii J., Kuno Y., Maeda F., Nakahara K., Nosaka N., Sakamoto H., Sato A., Terai K., Igarashi Y., Yokoi T. // Nucl. Instrum. and Methods. 2005. V. A551. P. 271. doi 10.1016/j.nima.2005.05.075
9. Mu2e Collaboration // Nuovo Cim. 2018. V. C40(5). P. 176. doi 10.1393/ncc/i2017-17176-4
10. Chumakov A.N., Batay L.E., Bosak N.A., Kuchinskiy N.A., Chekhovsky V.A. // High Temperature Material Processes. 2014. V. 18(3). P. 205. doi 10.1615/HighTempMatProc.2015015664
11. NA62 Коллаборация. Препринт ОИЯИ P13-2016-33. Дубна, 2016.
12. CAEN Electronic Instrumentation. 2016-2017 Product Catalog. P. 90. http://www.caen.it/servlet/checkCaenDocumentFile?Id=11541