

P13-2009-164

В. М. Абазов, Г. Д. Алексеев, Ю. И. Давыдов, В. Л. Малышев,  
А. А. Пискун\*, В. В. Токменин

**СРАВНЕНИЕ РАБОТЫ МИНИ-ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК  
РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

\*Международный государственный экологический университет  
им. А. Д. Сахарова, Минск

Абазов В. М. и др.

P13-2009-164

Сравнение работы мини-дрейфовых трубок различной конструкции

Проведено экспериментальное сравнение двух типов мини-дрейфовых трубок, отличающихся конструкцией катодов — с открытой и закрытой геометрией. Показана практическая идентичность их основных характеристик. Однако трубки с открытой геометрией катода позволяют считывать одновременно две координаты с одного детектора — при регистрации сигнала с анодных проволочек и наведенного на внешних полосковых электродах. Данное свойство будет использовано при создании мюонной системы установки PANDA (FAIR).

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2009

Abazov V. M. et al.

P13-2009-164

A Performance Comparison of Mini-Drift Tubes with a Different Design

Two types of mini-drift tubes with a different cathode design, open and closed cathode geometry, have been experimentally compared. Their parameters have been shown to be practically identical. The open cathode geometry allows two coordinates to be read out simultaneously from the same tube by detecting the wire signal and the strip-induced signal. This advantage will be employed in the PANDA muon system (FAIR).

The investigation has been performed at the Dzhelpev Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2009

## ВВЕДЕНИЕ

В современных установках в физике высоких энергий большое распространение получили трековые детекторы, известные как «трубки Иароччи» (Iarocci tubes) или «стримерные трубки» [1], и различные их модификации. Основой таких трубок являются катодные профили, формирующие несколько независимых ячеек, как правило восемь. По оси каждой ячейки натягивается анодная проволока, и считывание информации возможно с каждой индивидуальной проволочки или с группы проволочек. Профили помещаются в пластиковые пеналы, образуя таким образом отдельный детектор.

Достоинством такой геометрии является простота конструкции, позволяющая создавать детекторы длиной в несколько метров. Трубки, собранные в сборки, могут перекрывать большие площади. Несомненным преимуществом такого рода детекторов перед традиционными многопроволочными камерами является их надежность, так как обрыв одной проволоки приводит в результате к выключению, как правило, только одной ячейки из большой сборки детекторов. К недостаткам следует отнести наличие стенок профиля между соседними ячейками и стенок пластиковых пеналов между соседними трубками, что приводит к некоторым потерям в эффективности регистрации частиц.

Ранее в рамках сотрудничества с Лабораторией им. Э. Ферми (США) и с ЦЕРН в ЛЯП ОИЯИ были разработаны и изготовлены модифицированные детекторы данного типа — мини-дрейфовые трубки (МДТ) [2, 3]. В разработанной конструкции (рис. 1) был использован тонкостенный алюминиевый профиль с восемью ячейками, открытыми сверху. В центре каждой ячейки натянута анодная проволока. Во всех ячейках через каждые 50–70 см (в зависимости от размера МДТ) по длине установлены пластмассовые поддержки, фиксирующие пространственное положение проволочек и обеспечивающие электростатическую стабильность системы. Шаг ячеек и расстояние между проволочками равны 10 мм. Профиль с проволочками закрыт сверху крышкой, сделанной из нержавеющей стали толщиной 0,15 мм. Таким образом формируются индивидуальные ячейки квадратного сечения. Вся эта сборка вложена в пластиковый пенал прямоугольного сечения с толщиной стенок

1 мм. Пенал обеспечивает герметизацию рабочего газа внутри детектора, а также электроизоляцию его напряжения питания. В зависимости от решаемых задач и технических условий либо положительное высокое напряжение подается на анодные проволочки, либо отрицательное — на катоды. МДТ данной конструкции успешно используются в мюонной трековой системе эксперимента D0 [4] в Лаборатории им. Э. Ферми (США) и в эксперименте COMPASS [5] в ЦЕРН.

В будущем эксперименте PANDA [6], планируемом на новом ускорительном комплексе FAIR (Дармштадт, Германия), МДТ предполагается использовать как основу мюонной системы, представляющей собой чередующиеся слои стальных пластин и детекторов (т.е. пробежную систему). Для измерения пробега мюона в железе необходим двухкоординатный детектор. Рациональным решением задачи с технической и экономической точек зрения является определение обеих координат с одного слоя детекторов МДТ как по анодному сигналу, так и по наведенному на внешних электродах заряду. Для устранения эффекта электрической экранировки сигнала с одной стороны детектора авторами было предложено использовать стандартную МДТ без катодной крышки из нержавеющей стали. Для регистрации наведенных сигналов на слой детекторов со стороны открытой части алюминиевого профиля снаружи пластикового корпуса монтируется плоскость из полосковых электродов (стрипов), расположенных под углом к направлению анодных проволочек.

Данная работа посвящена сравнению двух типов МДТ: с катодом, закрытым крышкой (закрытая геометрия), и без крышки (открытая геометрия). Приведены результаты измерений счетных характеристик и эффективности регистрации, амплитудные спектры и распределения времени дрейфа для космического излучения, а также зависимости газового усиления от анодного напряжения для обоих типов МДТ.

## 1. ГЕОМЕТРИЯ МДТ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 1 показан поперечный разрез МДТ с катодной крышкой (закрытая геометрия). Стенки алюминиевого профиля имеют толщину 0,6 мм, расстояние между центрами ячеек равно 10 мм. Анод выполнен из золоченой вольфрамовой проволочки диаметром 50 мкм, натянутой с силой 200 г. Профиль с проволочками закрыт сверху тонкой крышкой, сделанной из нержавеющей стали толщиной 0,15 мм. Таким образом формируются восемь ячеек квадратного сечения, внутреннее сечение ячеек равно  $9,4 \times 9,4$  мм. Тестовая МДТ имеет длину 60 см и собрана без пластмассовых поддержек проволочек. Положительное высокое напряжение подается на анодные проволочки, и сигналы считываются с каждой проволочки индивидуально.

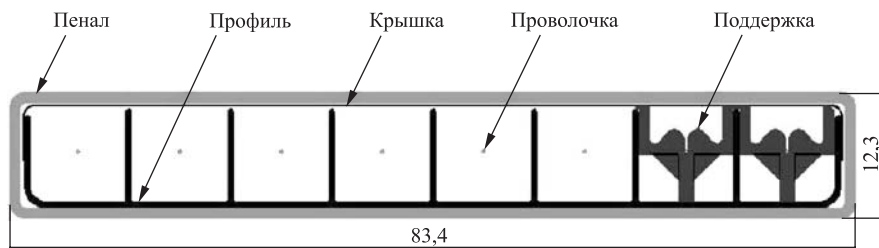


Рис. 1. Сечение МДТ стандартной конструкции. Катод сформирован алюминиевым профилем и стальной крышкой (закрытая геометрия). Показаны только две поддержки

Для исследования МДТ со считыванием второй координаты со стрипов использовалась та же самая трубка с удаленной из нее катодной крышкой (открытая геометрия). Разрез такой МДТ показан на рис. 2. Снаружи МДТ, со стороны открытой части алюминиевого профиля, была установлена плоскость со стрипами, направленными перпендикулярно к направлению анодных проволочек. Для этого использовалась пластина двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 2 мм с нарезанными на ней стрипами шириной 1 см. Длина стрипов составляла около 10 см. Поверхность стеклотекстолита со стрипами лежала непосредственно на пластиковом пенале, обратная (внешняя) сторона была заземлена.

При кажущемся сходстве геометрий двух типов МДТ они имеют принципиальные различия. МДТ с закрытой геометрией имеет симметричные ячейки квадратного сечения размером  $9,4 \times 9,4$  мм и симметричное электрическое поле. В МДТ с открытой геометрией три стороны ячейки формируются алюминиевым профилем, а четвертая сторона образуется пластиковым пеналом. Здесь, в отличие от МДТ с закрытой геометрией, ячейка уже не является

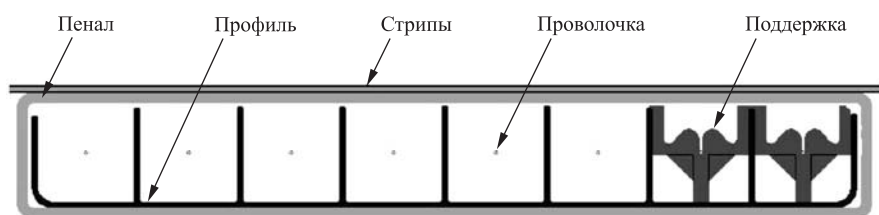


Рис. 2. Сечение МДТ с катодом, сформированным только алюминиевым профилем (открытая геометрия). Внешний электрод сделан из двустороннего фольгированного стеклотекстолита

симметричной: электрическое поле будет искажено положительными ионами, осевшими на внутренней поверхности пенала [7, 8]. Как результат, при том же приложенном напряжении, что и в МДТ с закрытой геометрией, данный детектор будет иметь меньшую напряженность поля и, соответственно, меньшее газовое усиление. Будучи диэлектриком, стенка пластикового пенала является «прозрачной» для электрических импульсов и позволяет снимать наведенные на стрипах сигналы от лавин, развившихся на проволочках, и с высокой точностью определять координату лавины вдоль проволочки.

Для всех измерений использовалась газовая смесь 70 % Ar + 30 % CO<sub>2</sub> при атмосферном давлении.

На рис. 3 представлена блок-схема измерений. Анодное напряжение  $+U$  от высоковольтного блока питания (ВБП) через разветвитель Р подается на анодные проволочки МДТ. Величина напряжения  $+U$  ВБП устанавливается сигналом внешнего управления (ВУ) цифроаналогового преобразователя (ЦАП) КА009 [9].

Сигналы с анодных проволочек через высоковольтные емкости ( $C = 1000$  пФ) подаются на плату усилителя-дискриминатора ADB-16 [10]. ADB-16 усиливает входные аналоговые сигналы и подает их на преобразователь заряд-код ADC модели 2249A (LeCroy) [11], а также формирует логические сигналы для анодных сигналов, превышающих порог, устанавливаемый сигналом «порог» из ЦАП. Логические сигналы ADB-16 подаются через транслятор логических сигналов (ТЛС) на времяцифровой преобразователь TDC, модель 2228A (LeCroy) [11], и через сумматор логических сигналов (СЛС) на счетчик 1 модуля КС014 [9], а также на вход схемы совпадений СС2. Сцинтиляционные счетчики С1 и С2 размером 60 × 300 мм располагаются над и под МДТ, образуя телескоп для космики. Счетчики фиксируются симме-

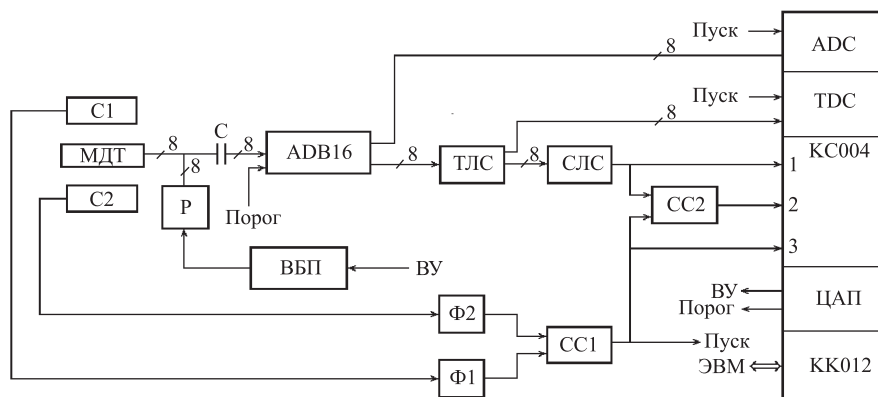


Рис. 3. Блок-схема тестовых измерений

трично относительно центральной оси МДТ, при этом частицы, проходящие через оба счетчика, пересекают и рабочий объем МДТ. Сигналы счетчиков С1 и С2 после формирователей Ф1 и Ф2 подаются на схему совпадения СС1. Выходной сигнал «пуск» от СС1 поступает на управляющие входы ADC и TDC, а также на счетчик 3 модуля КС014 и на вход схемы совпадений СС2. Сигнал с выхода СС2 подается на счетчик 2 модуля КС014. Конец преобразования сигналов в ADC и TDC инициирует считывание события в ЭВМ через КАМАК-контроллер КК012 [9]. По окончании заданного времени экспозиции программа прерывает прием данных и считывает величины счета, накопленные за это время на счетчиках 1, 2 и 3 модуля КС014. При этом счет на счетчике 1 соответствует скорости счета МДТ при установленном пороге амплитуды импульса и анодном напряжении, а отношение счета на счетчике 2 к счету на счетчике 3 равно эффективности при этих условиях.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 4, 5 приведены счетные характеристики и кривые эффективности для МДТ с закрытой и открытой геометрией катода, измеренные с использованием космики при пороге амплитуды импульсов МДТ 2,0 мкА. Плато счетных характеристик имеет примерно равную протяженность 120–140 В для обоих типов МДТ. При этом счетная характеристика для МДТ с открытой геометрией достигает плато при анодном напряжении, большем примерно на 80 В, чем для МДТ с закрытой геометрией катода. Кривые эффективности для МДТ с закрытой и открытой геометрией катода достигают плато около 98–100 % примерно с таким же сдвигом.

Для сравнения на рис. 6 показаны счетные характеристики МДТ с открытой геометрией катода для разных порогов импульсов с МДТ 1,0, 1,5 и 2,0 мкА, когда детектор облучался  $\gamma$ -квантами от источника Со-60. Видно, что кривые для кобальта и космики при одинаковом пороге (2,0 мкА) практически совпадают, что говорит о примерно равной ионизации в чувствительном объеме МДТ. В дальнейшем Со-60 может использоваться для контроля работы МДТ как во время сборки, так и в готовой мюонной системе эксперимента PANDA.

Для калибровки аналогового канала измерений (усилителя ADB-16 и ADC) использовался генератор треугольных импульсов с шириной импульса на половине высоты 100 нс. При этом условии заряд импульса генератора примерно равен заряду импульсов МДТ с той же самой амплитудой. На рис. 7 приведены результаты калибровки. Заряд сигнала с амплитудой 1 мкА соответствует в среднем 39 каналам ADC, при этом калибровочные кривые линейны в диапазоне амплитуд 0–25 мкА (до 1000-го канала ADC) и слабо отличаются для всех 16 каналов.

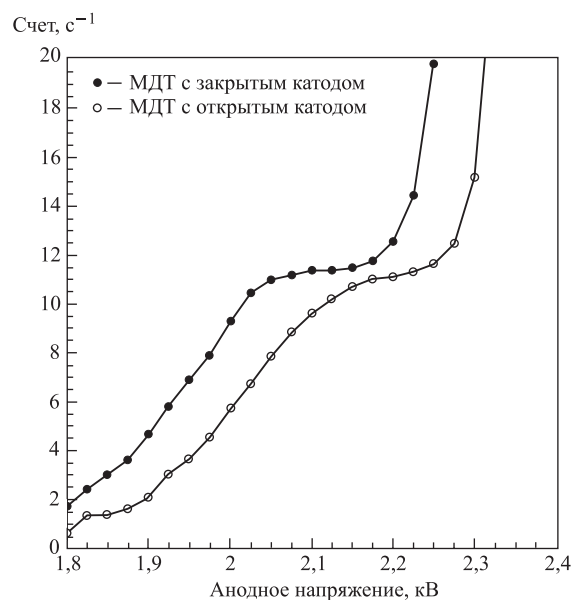


Рис. 4. Счетные характеристики обоих типов МДТ, полученные на космике при пороге 2,0 мкА

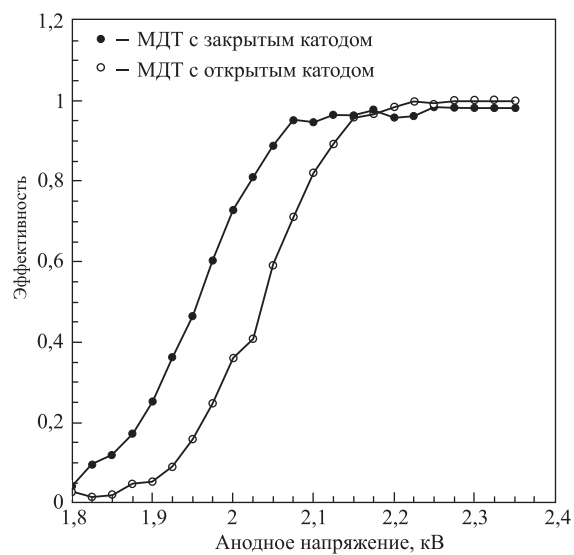


Рис. 5. Кривые эффективности обоих типов МДТ, полученные на космике



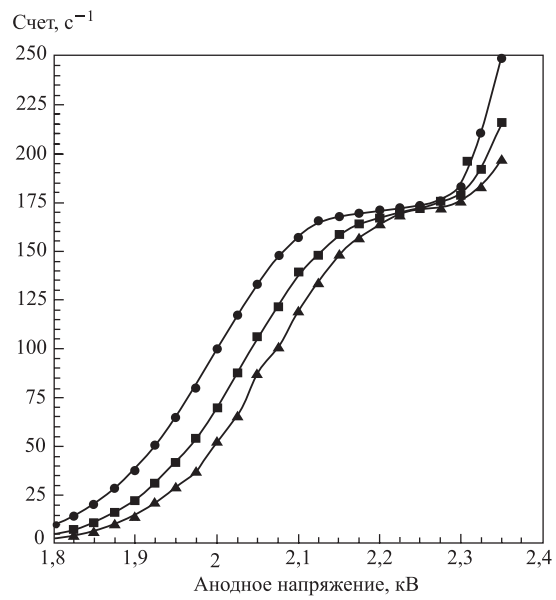


Рис. 6. Счетные характеристики МДТ с открытой геометрией катода, полученные от источника Со-60, при порогах 1,0 (●), 1,5 (■) и 2,0 мкА (▲)

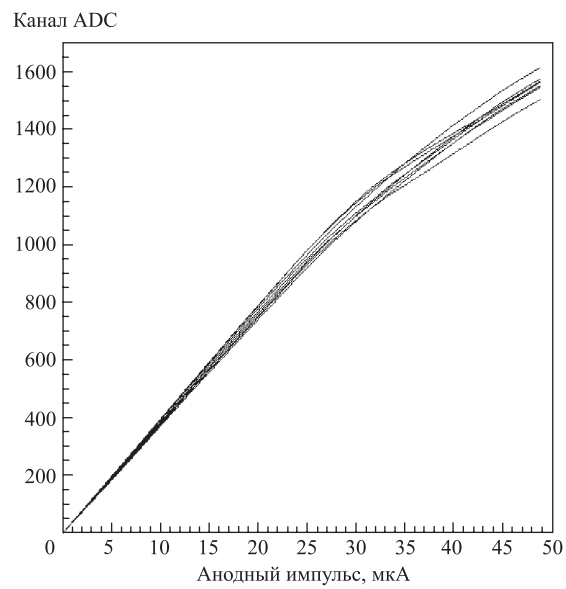


Рис. 7. Калибровочные кривые для 16 каналов регистрации ADB-16 и ADC

На рис. 8 показан амплитудный спектр космического излучения для индивидуальной анодной проволоочки МДТ с открытой геометрией катода при напряжении на МДТ 2300 В. В случае, когда частица не пересекает данную ячейку МДТ (что задается логикой отбора соответствующих событий), с этой проволоочки считывается пьедестал ADC, размытый шумом ADB-16. Эти события формируют большой пик в самом начале амплитудного спектра. Ширина этого пика дает представление о типичных величинах пьедестала ADC и величине шумовой дорожки ADB-16. Среднеквадратичная величина шумовой дорожки каналов ADB-16 равна 0,12 мкА, что заметно меньше измеряемых величин.

Сравнение временных спектров (времен дрейфа) детекторов с закрытой и открытой геометрией (при добавлении компенсирующего напряжения +100 В для МДТ с открытой геометрией) показало их практическую идентичность. В качестве примера спектр времен дрейфа для МДТ с открытой геометрией катода представлен на рис. 9.

Для определения величин газового усиления МДТ с закрытой и открытой геометрией катода были измерены спектры  $\gamma$ -излучения от источника Fe-55 при нескольких значениях анодного напряжения на плато счетных ха-

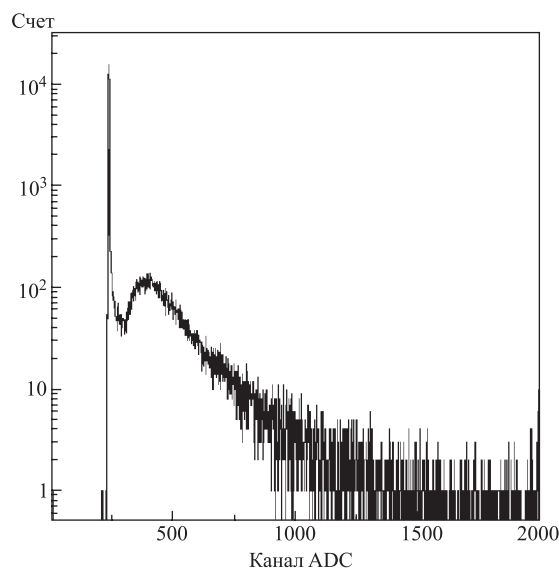


Рис. 8. Зарядовый спектр одной из проволоок МДТ с открытой геометрией катода, полученный на космике. Узкий пик дает представление о шумах в канале измерения (усилитель + внешние наводки); широкое распределение справа соответствует сигналам с анодной проволоочки

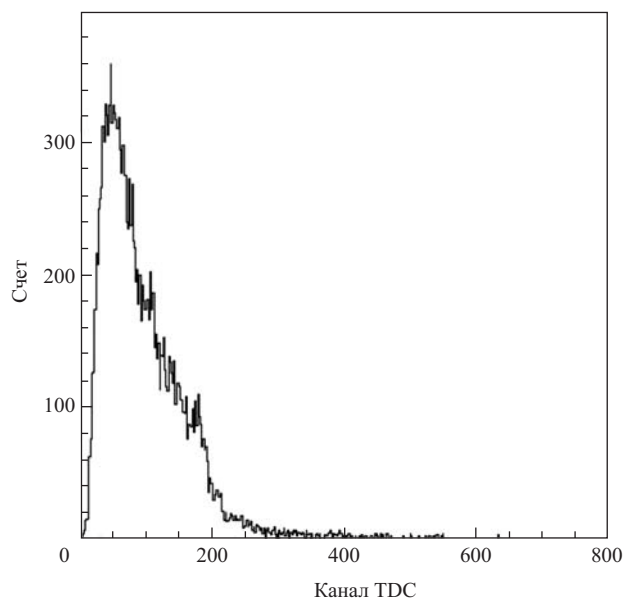


Рис. 9. Спектр времен дрейфа для МДТ с открытой геометрией; цена канала TDC равна 0,5 нс

рактических МДТ. Излучение источника Fe-55 коллимировалось отверстием диаметром 1 мм, просверленным в пластиковом пенале и в основании алюминиевого профиля по центру ячейки.

На рис. 10, 11 показаны спектры, измеренные для анодных напряжений  $U = 2200$  В для МДТ с закрытой геометрией и  $U = 2300$  В для МДТ с открытой геометрией катода. Обе эти точки находятся в конце плато счетных характеристик соответствующих типов МДТ. В правой высокоэнергетической части этих спектров выделяется большой пик полного поглощения, соответствующий энергии  $E = 5,9$  кэВ изотопа Fe-55. Наличие большого низкоэнергетического фона обусловлено, по-видимому, тем, что около 70%  $\gamma$ -квантов с энергией 5,9 кэВ, попадающих на поверхность коллиматора, алюминиевого профиля, пенала либо крышки из нержавеющей стали, дают низкоэнергетическое излучение.

Средняя величина заряда лавины на анодной проволочке вычислялась из положения пика полного поглощения с использованием калибровочных кривых. Отношение заряда лавины на проволочке, определенного из пика полного поглощения, к начальному заряду электронов ионизации, образуемых в газовой смеси при поглощении энергии 5,9 кэВ, дает величину газового усиления МДТ. Полученные результаты по газовому усилению представлены

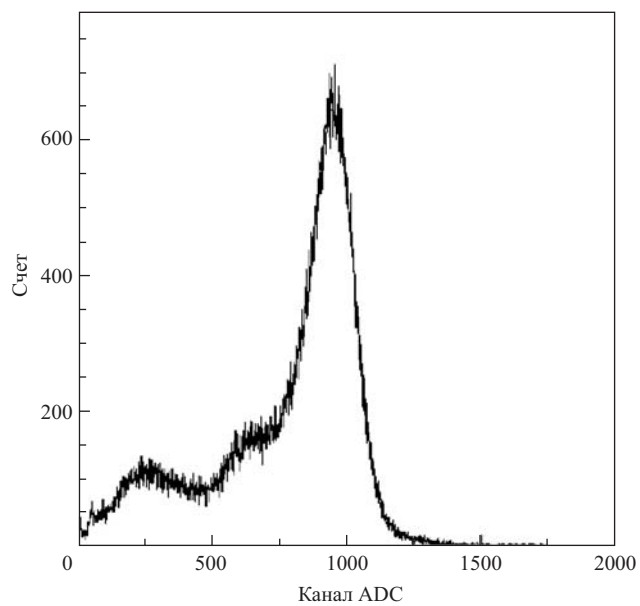


Рис. 10. Зарядовый спектр сигналов МДТ с закрытой геометрией от источника Fe-55

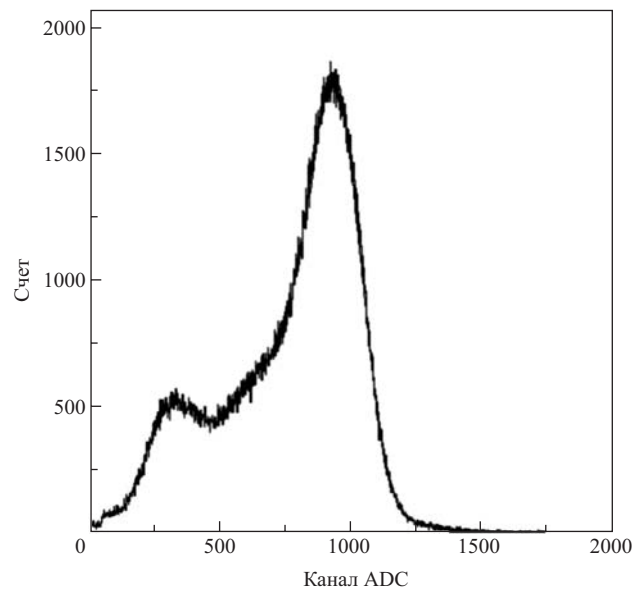


Рис. 11. Зарядовый спектр сигналов МДТ с открытой геометрией от источника Fe-55

на рис.12 для двух типов МДТ. Видно, что, как и в случае счетных характеристик и кривых эффективностей, для получения одинакового газового усиления на двух типах трубок к МДТ с открытой геометрией катода необходимо приложить напряжение почти на 100 В выше, чем к МДТ с закрытой геометрией.

Наведенные на стрипы сигналы составляют по величине всего несколько процентов от анодного сигнала. Это требует заметно большего усиления наведенных сигналов для того, чтобы выделить их на фоне шумов. Для усиления стриповых сигналов нами был использован каскад из двух последовательно включенных усилителей Амр1-8.3 [12]. Осциллограммы сигналов, снятых с проволоочки и со стрипа при прохождении космики примерно через центр стрипа, представлены на рис. 13. Луч № 1 соответствует отрицательному анодному сигналу, при этом коэффициент усиления составляет 60 мВ/мкА (использовано одно плечо дифференциального усилителя, дающего на выходе 60 мВ при входном токе 1 мкА). Положительный сигнал со стрипа подается на второй вход (луч № 2), при этом суммарный коэффициент усиления двойного каскада Амр1-8.3 составляет 480 мВ/мкА (сигнал инвертирован). Временной сдвиг стрипового сигнала объясняется задержкой в дополнительном каскаде усиления и кабельной задержкой. Оценка отношения сигналов с учетом коэффициентов преобразования показывает, что в данном случае

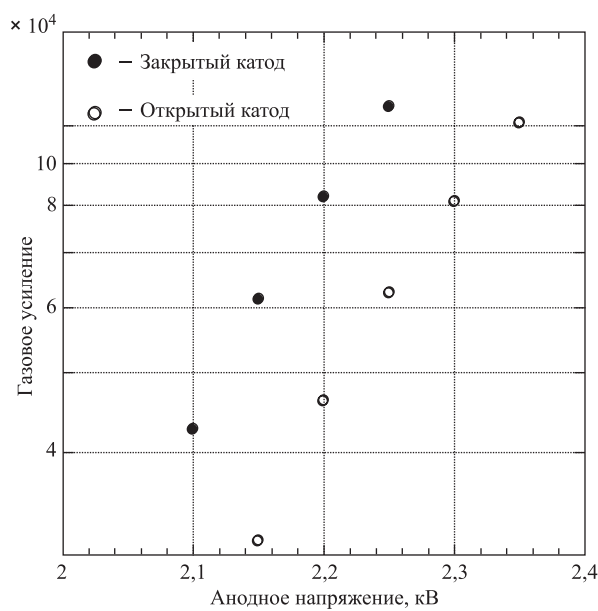


Рис. 12. Зависимость коэффициента газового усиления МДТ обоих типов от напряжения питания

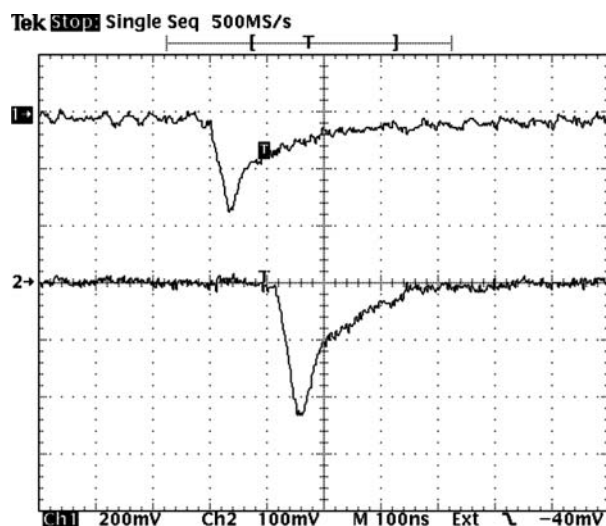


Рис. 13. Осциллограммы одиночных сигналов с анодной проволоочки (луч №1) и со стрипа (луч №2). Коэффициенты преобразования равны 60 и 480 мВ/мкА соответственно

сигнал со стрипа шириной около 1 см составляет примерно 10% от сигнала с анодной проволоочки.

Таким образом, результаты измерений демонстрируют, что МДТ с открытой геометрией катода имеет схожие параметры с МДТ с закрытой геометрией катода и позволяет надежно регистрировать наведенные на стрипах малые сигналы при использовании каскадирования усилителя, применяемого для регистрации анодного сигнала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено сравнение двух типов МДТ — с закрытой и открытой геометрией катодов. Показано, что оба типа детекторов имеют схожие характеристики. МДТ с открытой геометрией катода достигает тех же параметров, что и МДТ с закрытой геометрией при повышении высоковольтного напряжения на 100 В.

Показано также, что стрипы, размещенные снаружи МДТ с открытой геометрией катода, работающей в ограниченно-пропорциональном режиме, позволяют надежно регистрировать сигналы от минимально ионизирующих частиц.

Таким образом, мини-дрейфовые трубки [2, 3] при эксплуатации их без катодных крышек могут служить для одновременного считывания двух коор-

динат, что будет использовано нами при создании мюонной системы в проекте PANDA (FAIR).

Авторы выражают свою признательность Н. Н. Лебедеву и И. К. Прохорову за изготовление прототипов детекторов и помощь в работе, а также Н. И. Журавлеву — за консультации по электронике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Iarocci E.* Plastic streamer tubes and their applications in high energy physics // Nucl. Instr. Meth. 1983. V. 217. P. 30–42.
2. *Абазов В. М. и др.* Стенды испытания мини-дрейфовых трубок // ПТЭ. 2007. Т. 50, № 1. С. 47–57; Instruments and Experimental Technique. 2007. V. 50, No. 1. P. 41–50.
3. *Абазов В. М. и др.* Результаты испытания мини-дрейфовых трубок для передней мюонной системы установки D0 // ПТЭ. 2007. Т. 50, № 1. С. 58–68; Instruments and Experimental Technique. 2007. V. 50, No. 1. P. 51–60.
4. *Abazov V. M. et al.* The muon system of the Run II D0 detector // Nucl. Instr. Meth. A. 2005. V. 552. P. 372–398.
5. *Abbon P. et al.* The COMPASS experiment at CERN // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 577. P. 455–518.
6. <http://www-panda.gsi.de>;  
*Erni W. et al. (the PANDA Collab.)*. Technical Design Report for the PANDA Solenoid and Dipole Spectrometer Magnets. e-Print arXiv:0907.0169v1.
7. *Battistoni G. et al.* Electrodeless plastic streamer tubes // Nucl. Instr. Meth. 1983. V. 217. P. 429–431.
8. *Alekseev G. D. et al.* Some investigations with plastic streamer tubes // Nucl. Instr. Meth. A. 1986. V. 243. P. 385–387.
9. *Антохов В. В. и др.* Цифровые блоки в стандарте КАМАК (выпуск XVIII). Сообщение ОИЯИ Р10-90-589. Дубна, 1990.
10. *Алексеев Г. Д. и др.* Шестнадцатиканальная плата с аналоговыми и цифровыми выходами для работы с газовыми детекторами. Сообщение ОИЯИ Р13-2005-31. Дубна, 2005.
11. LeCroy Corporation. <http://www.lecroy.com/lrs/>.
12. *Alexeev G. D. et al.* The eight-channel ASIC bipolar transresistance amplifier DOM Ampl-8.3 // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 462. P. 494–505.

Получено 28 октября 2009 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 15.02.2010.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,18. Тираж 310 экз. Заказ № 56891.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)