

P13-2013-50

Н. И. Азорский, С. Н. Базылев, Л. Н. Глonti,
Х. Даниелссон *, А. И. Зинченко, Ю. Л. Злобин,
В. Д. Кекелидзе, Н. А. Кучинский, Д. Т. Мадигожин,
С. А. Мовчан, Ю. К. Потребеников, В. А. Самсонов,
В. М. Слепнев, И. В. Слепнев, П.-Л. Фрабетти,
В. С. Швецов, С. Н. Шкаровский

**КОНСТРУКЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ
ПЕРВОГО ПРОТОТИПА ДЕТЕКТОРА
ЭКСПЕРИМЕНТА NA62
НА ТОНКОСТЕННЫХ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБКАХ**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

* ЦЕРН, Женева

Азорский Н. И. и др.

P13-2013-50

Конструкция и результаты испытаний первого прототипа детектора эксперимента NA62 на тонкостенных дрейфовых трубках

Описана конструкция изготовленного в ЛФВЭ ОИЯИ прототипа детектора эксперимента NA62, построенного на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу) и предназначенного для работы в вакууме. Приведены результаты измерений разрешения и эффективности дрейфовых трубок этого прототипа на пучках SPS в ЦЕРН при использовании различных типов регистрирующей электроники, различных газовых смесей и различных трековых загрузок. Даны рекомендации по конструкции полномасштабного детектора.

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2013

Azorskiy N. I. et al.

P13-2013-50

Design and Test Results of NA62 Straw Detector First Prototype

The design of the NA62 detector prototype produced at JINR is described. The detector is based on straw tubes and supposed to work in vacuum. The results of the prototype's straw resolution and efficiency measurements made on the CERN SPS beams are presented for various front-end electronics, gas mixtures and beam rates. Prescriptions are given for the full-scale detector design.

The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Эксперимент NA62 [1] на SPS в ЦЕРН нацелен на измерение относительной вероятности сверхредкого распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$. Для регистрации и измерения параметров заряженных продуктов этого распада принята конфигурация магнитного спектрометра (трекера), основу которого будут составлять четыре камеры, каждая из них будет измерять четыре координаты — X, Y, U, V (U и V повернуты относительно X на $\pm 45^\circ$).

Необходимая точность измерения координат определяется требованиями, полученными на основе моделирования установки: относительная ошибка измерения импульса ($\Delta p/p$) $\sim 0,3\%$ для каонов и $\sim 1\%$ для пионов, ошибка измерения угла между пионом и каоном ($\Delta\Theta_{\pi K}$) 50–60 мкрад. Для достижения такой точности необходимо обеспечить минимальное количество материала вдоль траектории частицы (для минимизации кулоновского рассеяния) и достичь координатного разрешения трекера для пространственной точки ~ 80 мкм. С учетом того, что пространственная точка определяется измерением в большинстве случаев координат в двух–четырех проекциях, пространственное разрешение для каждой из проекций должно быть не хуже 130 мкм, а количество вещества для камеры из четырех проекций — менее 0,5 % радиационной длины X_0 .

Исходя из этих требований при планировании эксперимента NA62 был выбран вариант детектора на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу) диаметром 9,8 мм и длиной ~ 2300 мм, изготовленных из майлара толщиной 36 мкм. Длина регистрирующей части строу (2100 мм) определялась апертурой жидкокриптонового калориметра установки NA48 [2], использованного в детекторной системе эксперимента NA62 и задающего ее апертуру в целом.

Для минимизации многократного рассеяния продуктов распада и фона от их взаимодействия со средой детекторы магнитного спектрометра должны работать в вакууме и не иметь внутренних рамок. Таким требованиям вполне удовлетворяют детекторы на основе строу. Обычные строу-детекторы, работающие в воздушной среде, нашли широкое применение в экспериментах по физике частиц (см., например, [3–5]). Известны также разработки строу-детекторов для работы в вакууме. Например, такой детектор предлагался для проекта эксперимента MECO [6], впоследствии закрытого. Вариант детекторов на основе строу в вакууме испытывался в виде прототипов [7] и был использован в установке COSY-TOF [8]. Для использования в высоких слоях атмосферы с участием авторов настоящей статьи создается строу-детектор для эксперимента CREAM [9].

После изучения деформаций различных типов строу в вакууме и с учетом опыта работ в эксперименте CREAM для спектрометра NA62 были выбраны тонкостенные трубки, изготовленные методом продольной ультразвуковой сварки. Для проверки свойств этих чувствительных элементов в условиях вакуума, а также для оптимизации решений по выбору дрейфовых газовых смесей и электроники считывания данных был разработан и изготовлен специальный прототип строу-детектора, описанный в настоящей работе.

1. КОНСТРУКЦИЯ ПРОТОТИПА

Созданный прототип включает восемь слоев трубок, по шесть трубок в каждом слое (рис. 1). Концы трубок зафиксированы (заклеены) в алюминиевых фланцах. Для позиционирования трубок внутри прототипа использовались две поддержки, изготовленные из плексигласа толщиной 15 мм.

Первые шесть слоев были собраны из трубок с двухсторонним алюминиевым напылением толщиной по 0,075 мкм с каждой стороны, а последние два слоя — из трубок, покрытых последовательно напыленными слоями меди (0,05 мкм) и золота (0,05 мкм) с внутренней стороны трубки. Расстояние между трубками в прототипе составляло $\approx 1,2$ мм. Анодные проволоки фиксировались с обоих концов с помощью пайки в пинах, вклеенных в цилиндрическую втулку, изготовленную из Ультема®. Для центрирования положений

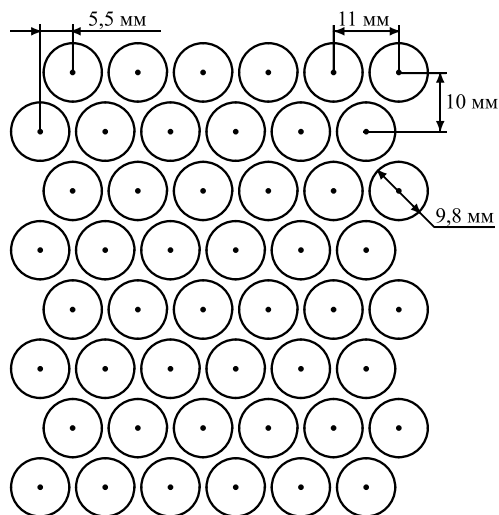


Рис. 1. Схема расположения трубок в прототипе

проволок внутри трубок использовались специальные самоцентрирующиеся втулки, также изготовленные из Ультема®.

Все трубки подключались к системе газового снабжения последовательно. Трубки газового снабжения проклеивались для минимизации утечек газа в вакуум. Утечка из прототипа, помещенного в вакуум, измерялась при помощи специально сконструированного вакуумного стенда и составила $\sim 0,0125$ см³/мин/строу для СО₂ под атмосферным давлением.

Катодное сопротивление, измеренное как для алюминизированных, так и для позолоченных трубок, составило около 40 Ом. В качестве анода использовались позолоченные вольфрам-рениевые проволоки диаметром 30 мкм производства Luma Metall® [10].

Для считывания сигналов со строу было использовано три варианта электроники, разработанной на базе микросхем усилителей-дискриминаторов ASD-8 [11], ASDQ [12] и CARIOCA [13]. Для оцифровки времени дрейфа электронов до анодной проволоки в строу использовались времяцифровые преобразователи, разработанные на базе микросхемы НРТDC [14] с ценой деления около 0,2 нс/канал.

Прототип был успешно испытан в октябре 2007 г. в потоке частиц космических лучей в ОИЯИ, а затем в 2007–2009 гг. — в экспериментальных сеансах на канале P12-K42 SPS в ЦЕРН с использованием мюонного, пионного и каонного пучков. Полученные в этих сеансах данные позволили изучить поведение чувствительных элементов трекера в вакууме и обосновать выбор параметров для конструкции строу-детектора установки NA62.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА СТРОУ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Моделирование процесса регистрации сигнала со строу выполнено с помощью программы GARFIELD [15] для «медленной» газовой смеси — СО₂ + isoC₄H₁₀ + CF₄ (90 % : 5 % : 5 %). Моделировались треки мюонов с кинетической энергией 800 МэВ, пересекающих трубку перпендикулярно ее оси. Поперечная координата пересечения x разыгрывалась равномерно. Для воспроизведения формы импульса использовалась эмпирическая функция отклика предусилителя на основе микросхемы усилителя-дискриминатора ASD-8:

$$f(t) \propto \left(\frac{3t}{14}\right)^3 \exp\left(-\frac{3t}{14}\right), \quad (1)$$

где время (t) измеряется в наносекундах. С этой функцией производилась свертка тока, протекающего через анодную проволоку, чтобы получить зависимость выходного накопленного заряда от времени. Момент первого превышения зарядом установленного порога считался временем переднего фронта сигнала.

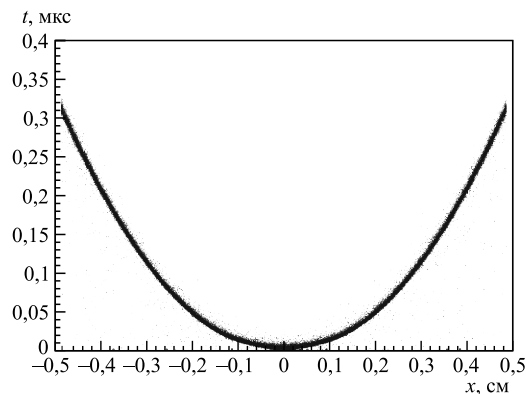


Рис. 2. Распределение лидирующего времени трека t и его поперечной координаты x , полученное методом Монте-Карло

Двумерное распределение времени переднего фронта сигналов и поперечной координаты трека x показано на рис. 2 для случая газового усиления $G = 2 \cdot 10^5$ и порога 6 фКл. Редкие случаи, когда время переднего фронта сигнала сильно отличается от среднего значения для данной x , вызваны выбиванием δ -электронов.

Необходимая для реконструкции координаты трека, зарегистрированного в строу, функциональная зависимость координаты трека x от времени переднего фронта сигнала от трека — так называемая RT-зависимость, была определена путем интегрирования одномерного распределения времени переднего фронта сигналов, полученных для равномерного распределения треков по x .

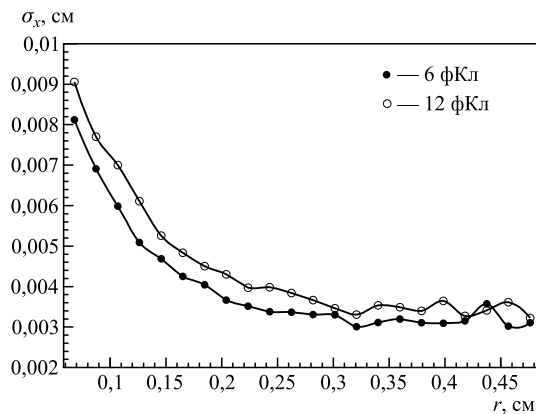


Рис. 3. Полученная методом Монте-Карло зависимость пространственного разрешения (σ_x) трубки от расстояния между треком и анодной проволокой для двух значений порога регистрации

Результаты моделирования пространственного разрешения строу представлены на рис. 3. Расчетная величина разрешения не превышает 45 мкм для расстояния от трека до проволоки более 2 мм.

В рамках данной модели была рассчитана также эффективность регистрации трека. С точностью, обеспеченной статистикой смоделированных событий, эта эффективность была стопроцентной вплоть до расстояний от трека до проволоки 4,8 мм, после чего начиналось ее заметное падение. Такое падение эффективности у края строу объясняется тем, что путь частиц в газовой среде становится настолько коротким, что вероятность образования даже одного кластера ионизации в газовом объеме строу падает.

Полученные результаты моделирования показали принципиальную возможность изготовления детектора на основе строу, разрешение которого будет удовлетворять требованиям эксперимента NA62.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОУ

Для исследования разрешения и эффективности строу описываемый прототип был установлен в вакуумной трубе экспериментальной установки NA48 [2] на расстоянии ~ 120 м от дрейфовых камер этой установки по направлению к мишени. Его центр был смещен в поперечном направлении на 15 см от оси пучка.

Условием срабатывания триггера в экспериментах с прототипом было прохождение одной заряженной частицы через установку. Регистрирующая электроника была разработана на базе микросхемы усилителя-дискриминатора ASD-8. В качестве электроники сбора данных была использована система считывания данных детектора KABES установки NA48 [2]. Использовалась «медленная» газовая смесь — $\text{CO}_2 + \text{isoC}_4\text{H}_{10} + \text{CF}_4$ (90 % : 5 % : 5 %).

Накопленная статистика позволила исследовать пространственное разрешение строу при высоком напряжении (ВН) на аноде в диапазоне от 2200 до 2600 В* для двух значений порога (П) на каналах электроники (6 и 12 фКл).

Для того чтобы исключить отражения от концов трубок и вторичные фронты, использовались только первые по времени сигналы. Кроме того, требовалось, чтобы в событии был только один трек, восстановленный на основе информации с дрейфовых камер установки NA48, который проходил бы через прототип.

Для точного определения времени прохождения трека заряженной частицы через прототип использовалось время, полученное триггерной системой установки NA48, созданной на основе годоскопа сцинтилляционных

* Соответствующий коэффициент усиления G — от $2,5 \cdot 10^4$ до $2 \cdot 10^5$.

счетчиков, которое уточнялось по результатам реконструкции треков в дрейфовых камерах [2] (разрешение ~ 150 пс).

Кроме того, для каждого канала была измерена его индивидуальная задержка времени, связанная с прохождением сигнала через трубку и электронику. Для каждого канала в распределении сигналов по времени область нарастания аппроксимировалось прямой, точка пересечения которой с нулевым уровнем принималась в качестве задержки для данного канала. Полученная таким образом задержка также учитывалась. Пример распределения откорректированных времен сигналов, полученных с дрейфовых трубок, показан на рис. 4.

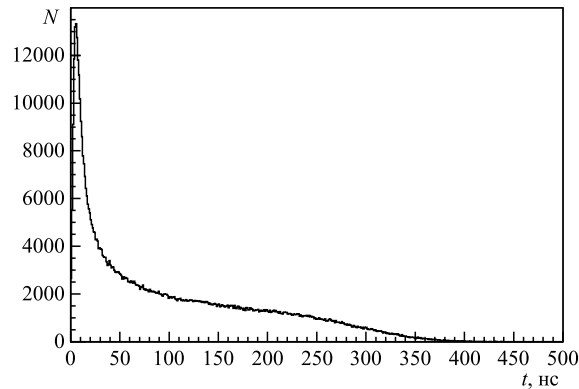


Рис. 4. Распределение лидирующего времени сигналов с дрейфовых трубок от треков, прошедших через прототип ($V_H = 2400$ В, $\Pi = 6$ фКл)

Для определения RT-зависимости был использован метод интегрирования спектра сигналов по времени. Он применим при условии равномерного распределения пересечений треками строу по радиусу трубки. Для исправления небольшого наклона этого распределения, вызванного неоднородностью пучка, был использован метод отбрасывания событий с вероятностью, пропорциональной поперечной координате трека x . Для получения RT-зависимости использовалась информация только с тех трубок, у которых сигнальная проволока находилась вблизи центра строу. Для выбора таких трубок строились двумерные распределения поперечной координаты (x) трека, восстановленного с помощью дрейфовых камер установки NA48, и времени сигнала (t) со строу. В качестве примера на рис. 5 приведены такие распределения для трубки, у которой сигнальная проволока смещена по оси X относительно центра трубки, а также для случая, когда проволока практически не смещена.

Распределение времен сигналов с трубок, у которых сигнальная проволока находится вблизи центра трубки, приведено на рис. 6. Полученная инте-

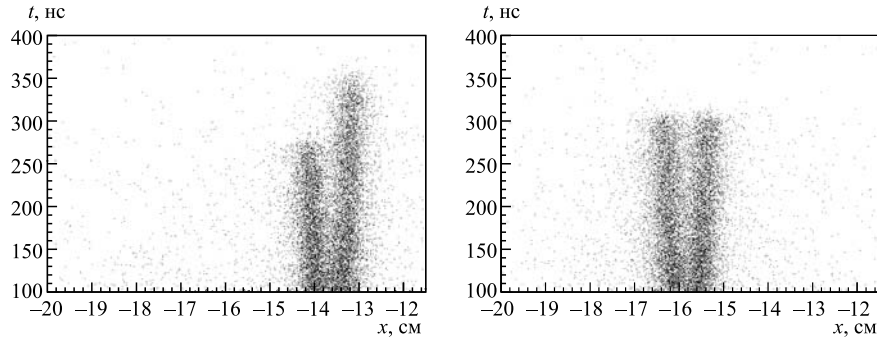


Рис. 5. Время сигнала с дрейфовой трубки t в зависимости от поперечной координаты трека x , восстановленной трекером установки NA48 ($V_H = 2400$ В, $\Pi = 6$ фКл). Слева: сигнальная проволока смещена относительно центра трубки. Справа: проволока вблизи центра трубки

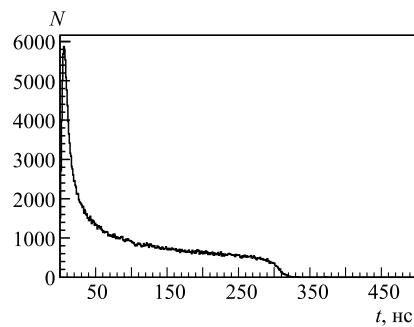


Рис. 6. Суммарное распределение времен сигналов с трубок, у которых сигнальная проволока расположена вблизи центра трубки ($V_H = 2400$ В, $\Pi = 6$ фКл)

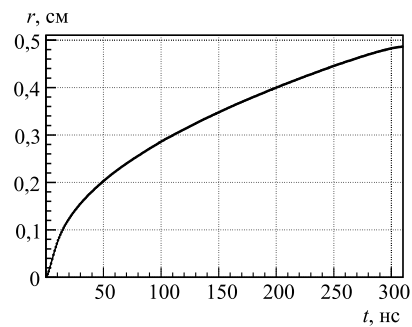


Рис. 7. RT-зависимость, полученная методом интегрирования распределения по времени сигналов с трубок ($V_H = 2400$ В, $\Pi = 6$ фКл)

гированием этого распределения RT-зависимость, использованная для анализа данных этого сеанса, приведена на рис. 7. Если время дрейфа превышало 310 нс, то применялась ее линейная экстраполяция.

Для того чтобы исключить вклад в измеряемое разрешение от допущенной при изготовлении прототипа неточности в расположении анодных проволок, была проведена коррекция их положений. Процедура коррекции состояла в следующем:

- выбиралась базовая трубка из числа тех, у которых анодная проволока находится близко к центру трубки; для каждого попадания частиц в эту трубку определялось расстояние дрейфа r_1 с использованием полученной RT-зависимости;

- для того же самого события определялось расстояние дрейфа r_2 в соседней трубке, расположенной в соседнем слое и смещенной на половину шага;

- строилось распределение разностей $\delta x_{1,2} = x_1 - x_2$ результатов двух измерений одной и той же поперечной координаты трека x_1 и x_2 , полученных на основе расстояний дрейфа в первой (r_1) и во второй (r_2) трубках с учетом небольшого смещения, обусловленного наклоном трека*;

- поперечная координата положения второй проволоки корректировалась на величину, равную среднему значению $\delta x_{1,2}$; далее эта процедура применялась последовательно к каждой трубке с использованием ближайшей трубки с уже откорректированным положением в качестве базовой.

Для оценки пространственного разрешения дрейфовых трубок применялась программа реконструкции треков, созданная на основе алгоритма, описанного в [16]. Для анализа использовались данные с шести слоев прототипа. Для измерения разрешения отбирались те события, у которых в каждом слое прототипа было только одно срабатывание. Это исключало из реконструкции возможные ложные срабатывания, наведенные от соседних трубок в слое.

Ширина распределения отклонений положений срабатываний в трубках от трека, реконструированного на основе тех же самых срабатываний (распределения остаточных отклонений), характеризует пространственное разрешение трубки σ_x , но не равно последнему. Среднеквадратичное остаточное отклонение σ_R меньше разрешения по координате, поскольку параметры реконструированного трека скоррелированы с измеренным положением срабатывания в трубке. Методом Монте-Карло для использованных шести слоев прототипа был получен поправочный коэффициент, с помощью которого пространственное разрешение можно оценить по величине среднеквадратичного остаточного отклонения: $\sigma_x = 1,2 \cdot \sigma_R$. Для каждого узкого интервала по расстоянию до проволоки σ_R оценивалось путем фитирования соответствующего распределения функцией Гаусса. Зависимости σ_R от расстояния между треком и проволокой при пороге в 6 фКл и при различных высоких напряжениях приведены на рис. 8. Зависимости среднеквадратичных остаточных отклонений σ_R от расстояния между треком и проволокой при высоком напряжении 2400 В и при различных порогах срабатывания регистрирующей электроники приведены на рис. 9. Из рисунка видно, что с уменьшением порога регистрирующей электроники разрешение улучшается.

Процедура определения эффективности регистрации состояла в следующем: трек восстанавливался на основе информации с первых пяти слоев прототипа, после чего в трубках шестого слоя проверялось наличие сраба-

*Наклон трека определялся на основе информации с дрейфовых камер установки NA48.

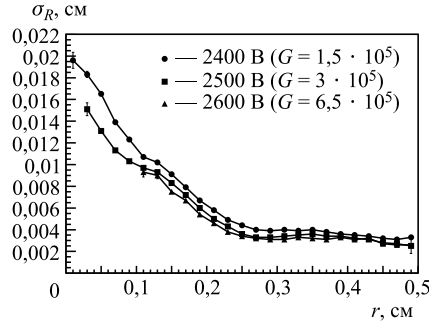


Рис. 8. Зависимости среднеквадратичных остаточных отклонений σ_R от расстояния между треком и проволокой при различных высоких напряжениях ($\Pi = 6$ фКл)

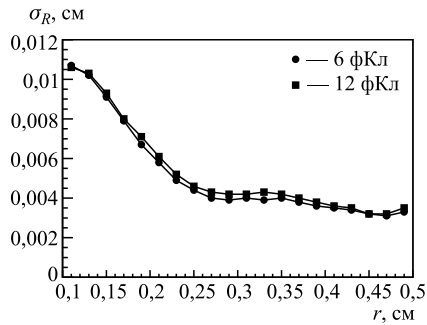


Рис. 9. Зависимости среднеквадратичных остаточных отклонений от расстояния от трека до проволоки при различных порогах ($VH = 2400$ В ($G = 1,5 \cdot 10^5$))

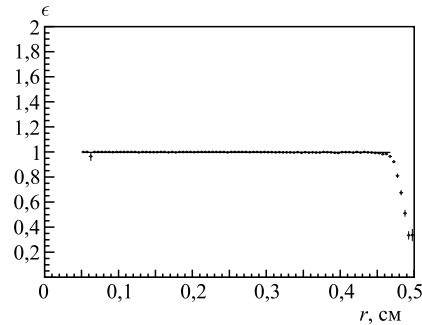


Рис. 10. Эффективность срабатывания трубки в зависимости от расстояния от трека до проволоки ($VH = 2400$ В ($G = 1,5 \cdot 10^5$), $\Pi = 6$ фКл)

тивания от этого трека. Эффективность срабатывания одной из трубок шестого слоя в зависимости от расстояния от трека до проволоки приведена на рис. 10. Эта зависимость аппроксимировалась константой в интервале 0,05–0,47. Полученное таким образом значение средней эффективности в выбранном интервале равно 0,998.

Использование не соприкасающихся между собой строу и наличие внутри строу достаточно большой зоны эффективности, близкой к 100% (эффективной зоны), позволило предложить схему расположения трубок в будущем детекторе, для которой

- в любой координатной плоскости каждой камеры будет не менее двух срабатываний в эффективной зоне строу для трека, попадающего в камеру под углом, меньшим установленного максимума;
- количество вещества в координатной плоскости будет минимальным.

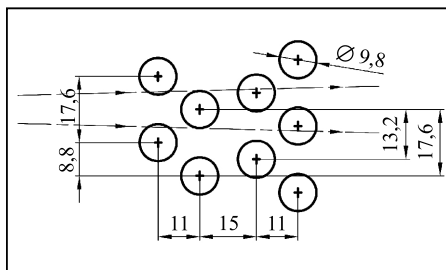


Рис. 11. Принятое расположение трубок в полномасштабном строу-детекторе NA62

Предложенная схема расположения строу, рассчитанная на регистрацию одной координаты трека, попадающего в камеру под углом $< 5^\circ$ по отношению к перпендикуляру к плоскости детектора, изображена на рис. 11 и принята в строу-детекторах экспериментальной установки NA62.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Исследование различных газовых смесей было выполнено при неработающих дрейфовых камерах спектрометра заряженных частиц установки NA48. В этих условиях для выработки сигнала триггера использовался только годоскоп сцинтилляционных счетчиков. Поэтому временное разрешение триггера оказалось хуже того, которое было доступно ранее. Соответственно, измеренные значения разрешения использовались только для качественных сравнительных тестов при одинаковых условиях.

Так, было выполнено сравнение результатов применения двух газовых смесей: «медленной» — $\text{CO}_2 + \text{isoC}_4\text{H}_{10} + \text{CF}_4$ (90 % : 5 % : 5 %) и «быстрой» — $\text{Ar} + \text{CO}_2$ (70 % : 30 %). На рис. 12 показано распределение по времени сигналов с дрейфовых трубок для «медленной» газовой смеси, на рис. 13 — для «быстрой». Как и ожидалось, максимальное время дрейфа для «быстрой» газовой смеси существенно меньше, чем для «медленной». Как следствие, при одинаковом разрешении по времени пространственное разрешение для «быстрой» смеси оказалось хуже. Результаты измерения среднеквадратичных остаточных отклонений срабатываний дрейфовых трубок σ_R в зависимости от расстояния трека до проволоки приведены на рис. 14.

Загрузочная способность прототипа исследовалась в пучках заряженных пионов разной интенсивности. Измерялась эффективность дрейфовой трубки в зависимости от частоты ее срабатываний. На рис. 15 приведены зависимости эффективности срабатывания дрейфовой трубки в пределах ее эффективного радиуса от ее загрузки для «быстрой» и «медленной» газовых смесей.

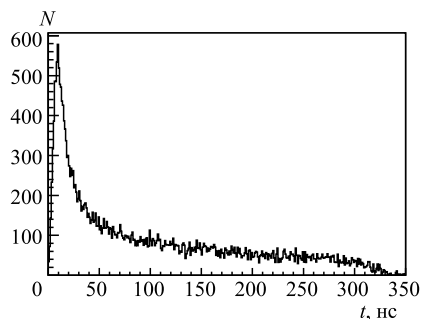


Рис. 12. Распределение по времени сигналов с дрейфовых трубок для «медленной» газовой смеси

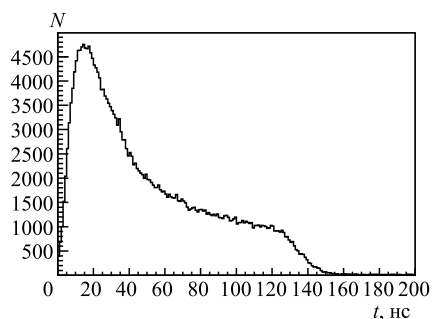


Рис. 13. Распределение по времени сигналов с дрейфовых трубок для «быстрой» газовой смеси

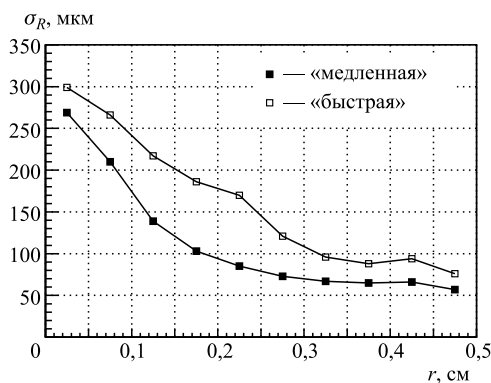


Рис. 14. Сравнение среднеквадратичных отклонений σ_R , завышенных из-за большого разрешения времени триггера, для «медленной» и «быстрой» газовых смесей

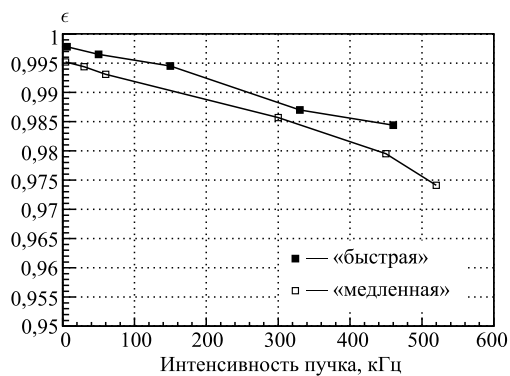


Рис. 15. Эффективность срабатывания дрейфовой трубки в зависимости от загрузки для «быстрой» и для «медленной» газовых смесей (сеанс 2009 г.)

Рисунок показывает, что трубки сохраняют достаточно высокую эффективность регистрации (не менее 98 %) для обеих газовых смесей вплоть до загрузки в 450 кГц, характерной для центральной области трека.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНИКИ СЧИТЫВАНИЯ ДАННЫХ

Были изучены возможности использования различных типов усилителей-дискриминаторов и схем согласования при считывании данных со строу. Поскольку доступная электроника, спроектированная на основе ASD-8, не вписывалась в конструкцию детектора, проводилось сравнение только усилителей-дискриминаторов ASDQ и CARIOCA. В экспериментах использовалась пожаробезопасная газовая смесь $\text{CO}_2 + \text{isoC}_4\text{H}_{10} + \text{CF}_4$ (82 % : 5 % : 13 %).

Для электроники типа ASDQ проверялось влияние согласования на дальнем конце строу с помощью резистора величиной $R_2 = 350$ Ом (см. рис. 16). Результаты измерения среднеквадратичных остаточных отклонений σ_R приведены на рис. 17. Как видно, наилучший результат достигается при отсутствии согласования на дальнем конце строу.

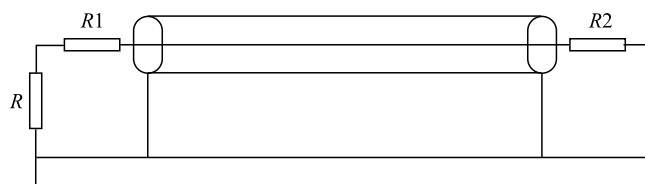


Рис. 16. Схема согласования строу в прототипе. R — входное сопротивление усилителя

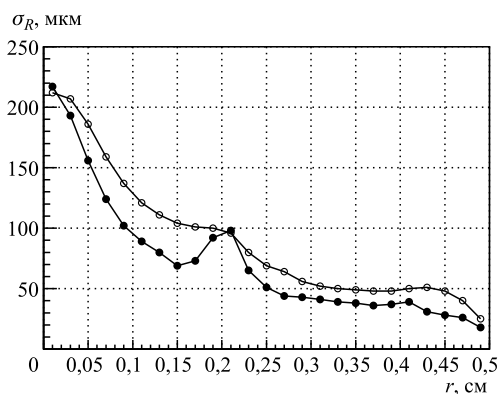


Рис. 17. Измеренные среднеквадратичные остаточные отклонения σ_R для ASDQ: порог — 6 фКл, $V_H = 2500$ В ($G = 1 \cdot 10^5$), o — согласовано, • — не согласовано

Было испытано два варианта подключения электроники типа CARIOCA: с использованием транзистора и с использованием резистора ($R1 = 120 \text{ Ом}$ на рис. 16). Дальние от стороны считывания сигнала концы строу в данном случае не согласовывались совсем ($R = \infty$). Результаты измерения σ_R (рис. 18) показывают, что предпочтительно согласование с помощью резистора.

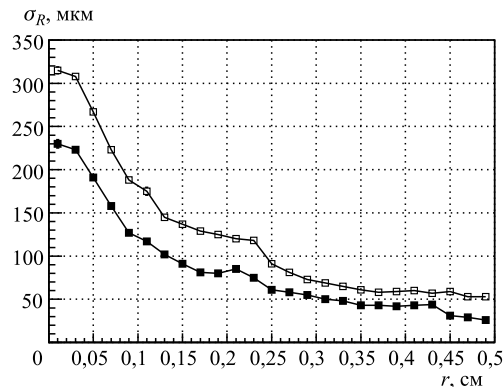


Рис. 18. Измеренные среднеквадратичные остаточные отклонения для CARIOCA: порог — 6 фКл, $VH = 2500 \text{ В}$ ($G = 1 \cdot 10^5$), ■ — резистор, □ — транзистор

Результаты испытаний приводят к выводу, что оба типа изученной электроники — на базе микросхем усилителей-дискриминаторов CARIOCA и ASDQ, подходят для применения в строу-детекторе эксперимента NA62. Из соображений доступности была выбрана электроника на базе микросхемы CARIOCA. Из изученных вариантов был выбран вариант согласования входного сопротивления предусилителя с волновым сопротивлением строу с помощью резистора при отсутствии согласования на противоположном конце строу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и испытан в вакууме прототип трекового детектора эксперимента NA62, созданный на основе длинных ($\sim 2300 \text{ мм}$) продольно сваренных металлизированных лавсановых строу диаметром около $9,8 \text{ мм}$.

Для идеализированной модели электроники методом Монте-Карло сделаны оценки свойств строу.

Экспериментально измерены разрешение и эффективность строу для «медленной» ($\text{CO}_2 + \text{isoC}_4\text{H}_{10} + \text{CF}_4$ (82% : 5% : 13%)) газовой смеси. Измеренное координатное разрешение оказалось порядка 50 мкм на расстояниях от проволоки более 2 мм ; вблизи проволоки разрешение ухудшается до

~ 200 мкм. Измеренная эффективность регистрации треков остается высокой (99,8 %) для их расстояний от анодной проволоки строу вплоть до 4,7 мм. Исследование загрузочной способности строу показало, что эффективность ее срабатывания при нагрузках вплоть до 450 кГц оказалась выше 98 %. Параметры строу для «быстрой» газовой смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ (70 % : 30 %), несмотря на некоторое ухудшение координатного разрешения, также оказались приемлемы для эксперимента NA62.

Экспериментально изучено влияние величины газового усиления (высокого напряжения) и величины порога регистрации электроники на детектирующие свойства строу. Наилучшие параметры были получены при величине газового усиления выше $G = 5 \cdot 10^4$ и при пороге регистрации $\Pi = 6$ фКл.

Выполнено сравнение параметров строу, полученных с усилителями-дискриминаторами на основе CARIOCA и ASDQ, проверены различные схемы согласования строу. На основе полученных результатов выбран усилитель-дискриминатор на основе CARIOCA и схема согласования строу с помощью резистора с «разорванным» ($R = \infty$) противоположным от стороны считывания концом.

В результате измерений, выполненных с помощью описанного прототипа, доказана возможность изготовления трекера на основе строу, работающих в вакууме, параметры которого будут полностью соответствовать требованиям эксперимента NA62. Проведенные исследования позволили предложить схему расположения трубок в детекторе, положенную в основу конструкторского задания для разработки геометрии спектрометра NA62. Полученные результаты использованы также при составлении требований к технологии массового производства строу-детекторов для этого эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anelli G. et al. (P326 Collab.) CERN-SPSC-2005-013, CERN-SPSC-P-326. 2005.
2. Fanti V. et al. The beam and detector for the NA48 neutral kaon CP violations experiment at CERN // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 574. P. 433–471.
3. Mir R. et al. Study of straw chamber lifetime with argon ethane // Nucl. Instr. Meth. A. 1989. V. 283. P. 679.
4. Bychkov V.N. et al. High precision STRAW tube chamber with cathode readout // Nucl. Instr. Meth. A. 1993. V. 325. P. 158.
5. Kekelidze G.D., Peshekhonov V.D. Precision track detectors based on straw drift tubes // Phys. Part. Nucl. 2002. V. 33. P. 343.
6. James L. Popp for the MECO Collaboration. The MECO experiment: A search for lepton flavor violation in muonic atoms // Nucl. Instr. Meth. A. 2000. V. 472. P. 354–358.

7. *Nuenighoff K. et al.* A light straw tracker detector working in vacuum // Nucl. Instr. Meth. A. 2002. V. 477. P. 410–413.
8. *Wintz P. (COSY-TOF Collab.)*. A Large Tracking Detector in Vacuum Consisting of Self-Supporting Straw Tubes // 8th Conf. CIPANP 2003. AIP Conf. Proc. 2003. V. 698. P. 789–792.
9. *Seo E. S. et al.* Cosmic-ray energetics and mass (CREAM) balloon project // Advances in Space Research. 2004. V. 33, Iss. 10. P. 1777–1785.
10. <http://www.Luma-metall.com>
11. *Newcomer F. M. et al.* // IEE Trans. Nucl. Science. 1993. V. 40(4). P. 630.
12. *Mota M. et al.* A flexible multi-channel high resolution time to digital converter ASIC // Nucl. Sci. Symp., Lyon, France, October 2000.
13. *Kashchuk A. et al.* LHCb-2000-62. CERN, 2000.
14. *Mota M., Christiansen J.* A high resolution time to digital converter based on an array of delay locked loops // Electronics for LHC experiments. London, 1997. P. 338–342.
15. *Veenhof R.* Garfield — simulation of gaseous detectors // CERN Comp. News Lett. 2000. V. XXXV, Iss. No. 1.
16. *Tolsma H.* 1996-116 CMS TESIS. 1996.

Получено 14 мая 2013 г.

Редактор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 20.06.2013.

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

Усл. печ. л. 1,12. Уч.-изд. л. 1,33. Тираж 265 экз. Заказ № 58013.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/