

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Д1-84-405

**А.С.Водопьянов, И.Войтковска, В.М.Головатюк,
Э.Гузик, Н.И.Зимин, Р.Б.Кадыров, Т.С.Нигманов,
В.Д.Рябцов, А.Б.Садовский, А.Е.Сеннер,
В.Г.Тимофеев, И.А.Тяпкин, Э.Н.Цыганов,
М.Д.Шафранов, Э.Штрайт**

**НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПЛАСТИКОВЫХ СТРИМЕРНЫХ ТРУБОК**

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods"

1984

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних нескольких лет стал внедряться в технику физического эксперимента новый тип проволочных детекторов - пластиковые трубки. Основными их преимуществами являются дешевизна конструкции, принцип разделения активной зоны детектора и системы считывания, простота изготовления, надежность работы. Довольно популярным для такого рода детекторов является самогасящийся стримерный /СГС/ режим. В последнее время предлагается использовать этот тип детекторов в проектах больших физических экспериментов^{/1/} и, в частности, в экспериментальных установках на встречных электрон-позитронных пучках ЛЭП /ЦЕРН/. Так, в качестве детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ будут использоваться пластиковые стримерные трубки. Общее число проволочек составит при этом около 200000, а общая площадь детекторов - около 6000 м².

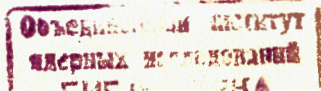
Характерной особенностью пластиковых стримерных трубок является использование в качестве катода изолятора с высокоомным проводящим покрытием, в результате чего появляется возможность съема информации с помощью внешних электродов. Эти электроды могут быть конструктивно независимыми от самого детектора и иметь любую необходимую конфигурацию /линии задержки, узкие катодные полоски, катодные площадки/.

Основное преимущество используемого СГС-режима - большая амплитуда сигнала - позволяет значительно упростить регистрирующую электронику^{/2/}. Следует отметить также простоту и технологичность изготовления основных конструктивных частей детектора.

В настоящей работе представлены некоторые характеристики пластиковых трубок, близких по конструкции к детекторам адронного калориметра установки ДЕЛФИ.

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПА АДРОННОГО КАЛОРИМЕТРА НА ПУЧКЕ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

В соответствии с планами участия в создании установки ДЕЛФИ в Объединенном институте ядерных исследований ведутся работы по подготовке к массовому изготовлению и испытанию детекторов адронного калориметра этой установки. Одним из этапов испытаний является исследование рабочих характеристик полномасштабного по толщине прототипа адронного калориметра на пучках синхрофазотрона ОИЯИ с энергией частиц до 10 ГэВ.



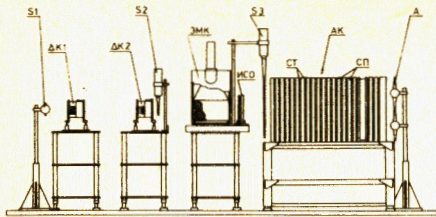
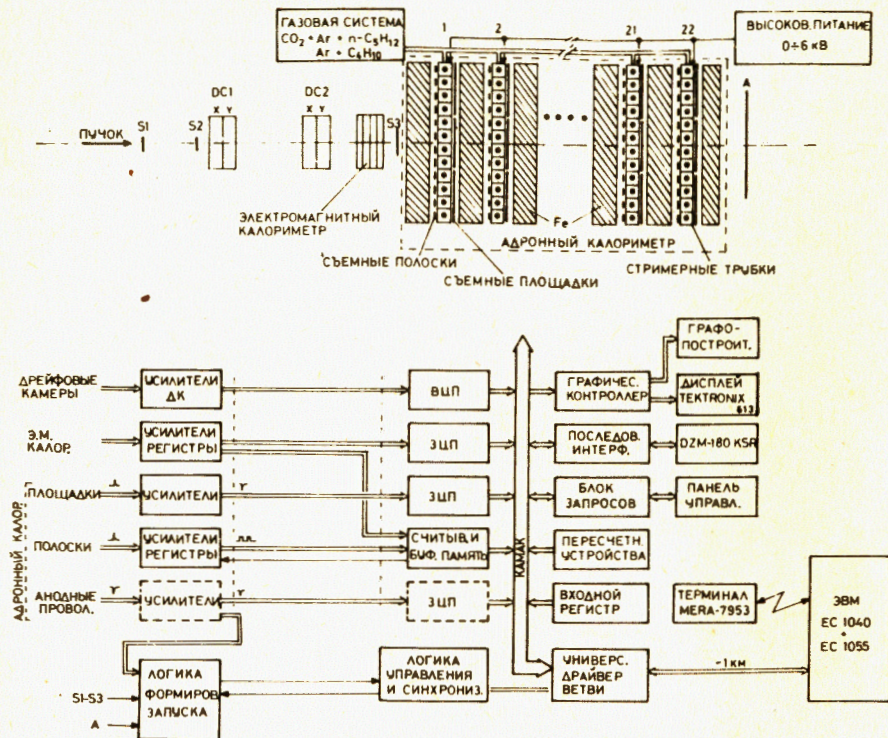


Рис.1. Схема расположения аппаратуры прототипа адронного калориметра ДЕЛФИ на пучке синхрофазотрона ОИЯИ.

Рис.2. Блок-схема электроники прототипа адронного калориметра.



Стенд для испытания прототипа адронного калориметра располагается на канале №36. Аппаратура, располагаемая на стенде, схематически изображена на рис.1. В канале выводится первичный пучок ускорителя. В дальнейшем в этой зоне будут дополнительно сформированы пучки π^\pm -мезонов, электронов и мюонов с энергией несколько ГэВ.

Прототип адронного калориметра в продольном направлении повторяет структуру цилиндрической части адронного калориметра установки ДЕЛФИ. Поперечное сечение радиатора адронного калориметра составляет $1 \times 1 \text{ м}^2$. Радиатор изготовлен из пластин железа

толщиной 5 см. Перед адронным калориметром установлен электромагнитный калориметр, толщина которого соответствует толщине электромагнитного калориметра установки ДЕЛФИ. Информация с электромагнитного калориметра также используется при определении энергии адронов. Электромагнитный калориметр состоит из пластин свинца толщиной 3 мм, прослоенных пластиковыми сцинтилляторами. Регистрация сигналов производится через сместители спектра двумя фотоумножителями.

Блок-схема электроники прототипа адронного калориметра ДЕЛФИ приведена на рис.2. Аппаратура работает на линии с ЭВМ ЕС-1040.

КОНСТРУКЦИЯ ПЛАСТИКОВЫХ СТРИМЕРНЫХ ТРУБОК

Конструкция исследованных нами модулей стримерных трубок была разработана с учетом основных параметров, принятых для детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ.

Модуль стримерных трубок состоит из двух профилей, в которых располагаются проволоочки, крышек, пенала и двух концевых заглушек с выводами для газового продува и подачи высокого напряжения. Кроме этого, для исследования характеристик детектора было предусмотрено считывание сигналов с анодных проволоочек. Все конструктивные элементы модуля были изготовлены из поливинилхлорида.

Профиль состоит из 8 ячеек размером $9 \times 9 \text{ мм}^2$ каждая с толщиной стенок 1 мм, покрытых изнутри слоем графита с сопротивлением $R = 100 \text{ кОм}$ на квадрат. В центре ячейки располагается анодная проволока из бериллиевой бронзы диаметром 100 мкм. Крышка имеет толщину 1 мм и покрыта с внутренней стороны тем же резистивным слоем. Пенал, в котором размещаются два профиля, ограничивает рабочий газовый объем. Исследования проводились на трубках длиной от 25 до 100 см.

Для исследований характеристик детектора с внешним съемом информации были изготовлены электроды различной конфигурации из двухстороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм.

Для исследований использовалась газовая смесь аргон-изобутан /1:3/ и аргон- CO_2 -п-пентан /1:2:1/.

Исследования проводились на линии с ЭВМ ЕС-1040.

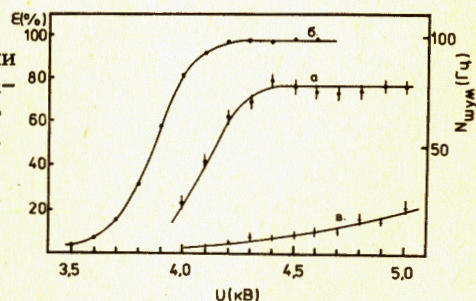
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИКОВЫХ СТРИМЕРНЫХ ТРУБОК

Для исследуемых пластиковых трубок переход в СГС-режим при запуске от β -источника начинается при $U=4,2 \text{ кВ}$, что видно по возникновению на анодной проволочке сигналов большой амплитуды /рис.3/. Рабочая газовая смесь для этого случая - аргон-изобутан /1:3/. Длительность анодного сигнала $\tau = 20 \text{ нс}$, фронт - $\sim 5 \text{ нс}$.



Рис.3. Форма сигнала с анодной проволоочки.

Рис.4. Эффективность регистрации электронов от радиоактивного источника ^{106}Ru в зависимости от напряжения: а - для газовой смеси аргон-изобутан /1:3/ и б - аргон- CO_2 -п-пентан /1:2:1/. Зависимость шумов /кривая в/ приведена для газовой смеси аргон-изобутан.



Зависимость эффективности регистрации β -частиц от напряжения на проволочке показана на рис.4. Порог регистрации при этом составлял ~ 5 пКл. Кривая "а" получена при составе газовой смеси аргон-изобутан /1:3/. Начало плато соответствует 4,3 кВ, длительность плато составляет около 700 В. При $U = 5,0$ кВ внутри детекторов начинают возникать пробои, наблюдается нестабильность в работе. Шумы одного детектора /кривая "в"/ в среднем составляют ~ 10 Гц. Уровень эффективности детектора на плато определялся геометрией запускающего счетчика. Кривая "б" получена при составе газовой смеси аргон- CO_2 -п-пентан 1:2:1.

На рис.5 приведены амплитудные спектры анодных сигналов при различных рабочих напряжениях на проволочке для газовой смеси аргон-изобутан /1:3/. Здесь и далее время интегрирования сигнала составляло 300 нс. При напряжении 3,9 кВ детектор работает в обычном пропорциональном режиме. С увеличением напряжения при переходе в СГС-режим форма спектра заметно изменяется, появляется характерный пик в области больших амплитуд. В области $4,2 \div 5,0$ кВ детектор работает преимущественно в СГС-режиме. При напряжениях выше 4,5 кВ в распределении амплитуд имеется некоторое "плечо", свидетельствующее о возможном наличии режима двух стримеров.

На рис.6 представлены амплитудные спектры сигналов с анодной проволоочки для различных напряжений при использовании газовой смеси аргон- CO_2 -п-пентан /1:2:1/. Видно, что переход в СГС-режим для этой смеси начинается несколько раньше, чем в предыдущем случае.

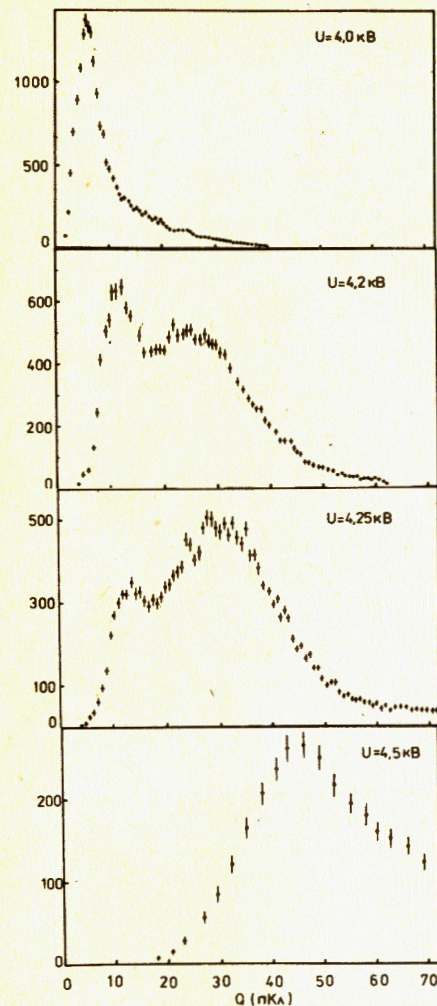
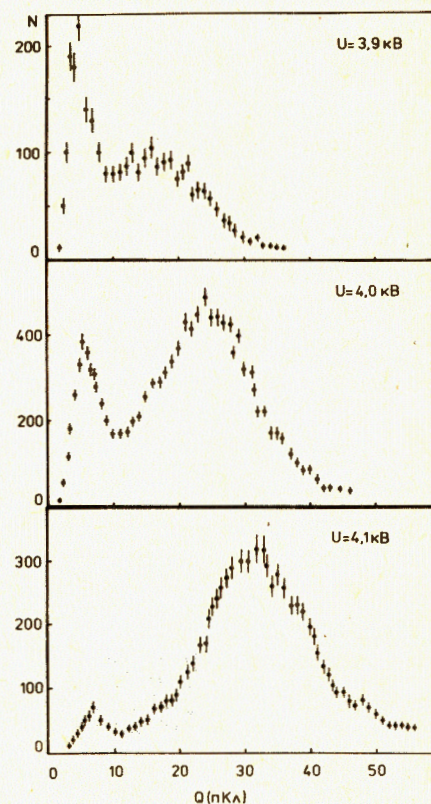


Рис.6. То же, что и на рис.5, но для газовой смеси аргон- CO_2 -п-пентан /1:2:1/.

Рис.5. Амплитудные спектры сигналов с анодной проволоочки для газовой смеси аргон-изобутан /1:3/ для различных напряжений при запуске камеры от радиоактивного источника ^{106}Ru .



Переход в СГС-режим облегчается в случае кластерного характера первичной ионизации. На рис.7 приведены амплитудные /зарядовые/ спектры сигналов с анодной проволоочки для газовой смеси аргон-изобутан /1:3/ для различных напряжений при работе от радиоактивного источника ^{55}Fe . Видно, что СГС-режим начинается при более низких напряжениях, чем в случае работы β -источника /рис. 5/. Амплитудный спектр сигналов при работе на плато / $U = 4,5$ кВ/ имеет форму, близкую к гауссовской со

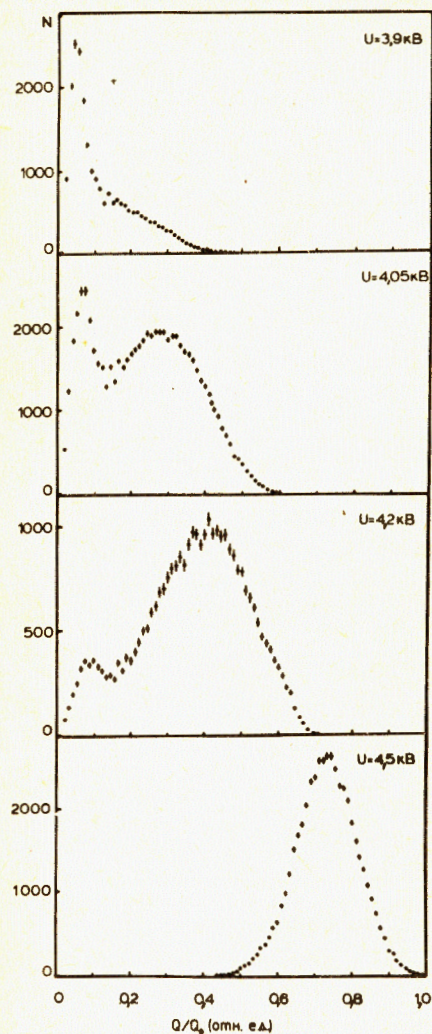


Рис.7. Амплитудные спектры сигналов с анодной проволочки для различных напряжений при работе камеры от радиоактивного источника ^{55}Fe , газовая смесь - аргон-изобутан /1:3/. По оси абсцисс отложена величина заряда в относительных единицах.

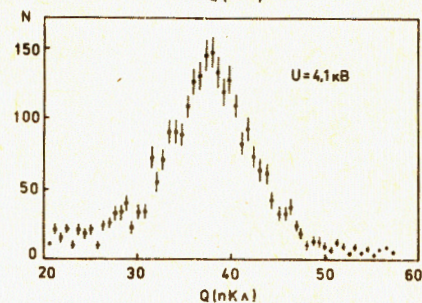
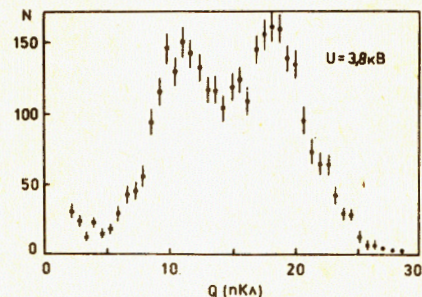
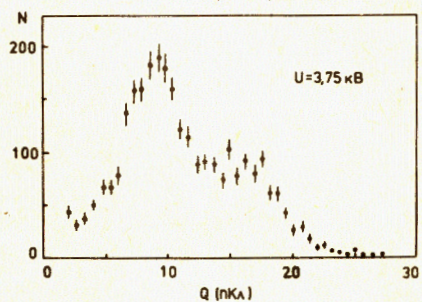
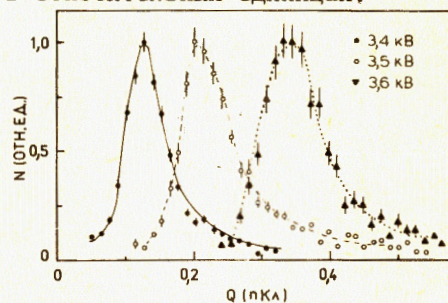


Рис.8. Амплитудные спектры сигналов с анодной проволочки для различных напряжений при работе камеры в пучке ядер ^4He с импульсом 7,0 ГэВ/с, газовая смесь - аргон-изобутан /1:3/.

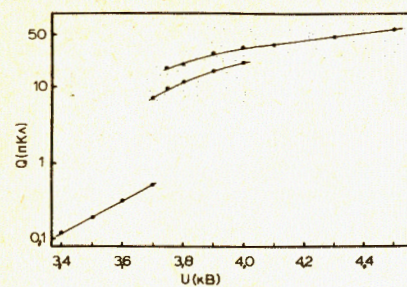
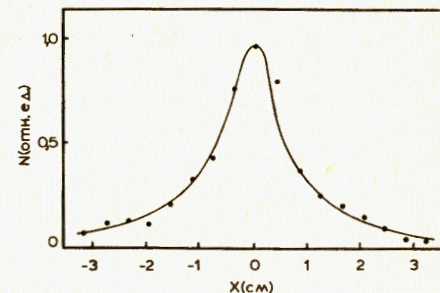


Рис.9. Зависимость амплитуды сигнала с анодной проволочки от напряжения при работе камеры в пучке ядер ^4He с импульсом 7,0 ГэВ/с, газовая смесь - аргон-изобутан /1:3/.

Рис.10. Поперечное распределение наведенного заряда.



среднеквадратичным разбросом около 12%; нет указаний на наличие двухстримерных срабатываний.

Интересная особенность перехода в СГС-режим наблюдалась нами при испытаниях детекторов на пучке релятивистских ядер ^4He с импульсом 7 ГэВ/с. На рис.8 приведены амплитудные спектры сигналов с анодной проволочки для этого случая. Во-первых, переход в СГС-режим начинается существенно раньше, чем для частиц с минимальной ионизацией. Во-вторых, при напряжении $\sim 3,7-3,8$ кВ одностримерный режим переходит в двухстримерный, что удваивает амплитуду сигнала. При напряжении выше 4,0 кВ режим работы, в основном, двухстримерный. Можно предположить, что стримеры развиваются на основе сбора первичной ионизации с противоположных сторон проволочки.

На рис.9 показана зависимость амплитуды сигнала с анодной проволочки от напряжения при работе в пучке ^4He с импульсом 7,0 ГэВ/с /газовая смесь - аргон-изобутан, 1:3/.

Большой интерес при использовании пластиковых стримерных трубок представляет возможность съема информации посредством внешних электродов. При этом интересно знать амплитудное распределение наведенных сигналов в зависимости от расстояния между электродом и стримером.

На рис.10 представлено распределение амплитуды наведенного заряда при запуске модуля от β -источника в зависимости от расстояния между съемной полоской и сработавшей проволочкой. Съемные полоски расположены параллельно сигнальным проволочкам. Ширина съемной полоски выбрана равной 3 мм, шаг - 4 мм. Время интегрирования составляло 300 нс. Ширина распределения на полувысоте составляла ~ 12 мм, форма распределения достаточно хорошо соответствовала ожидаемой для катода с бесконечно большим сопротивлением.

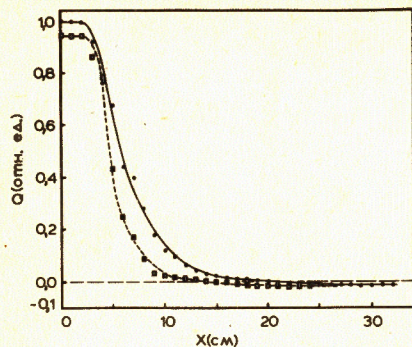
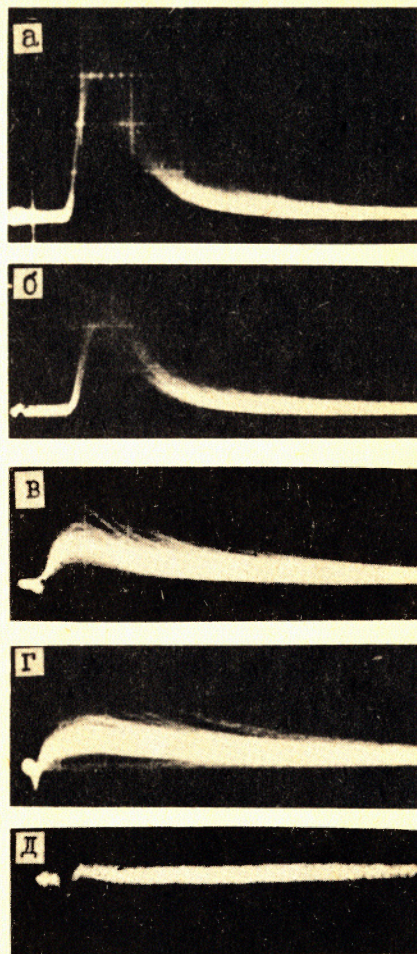


Рис.11. Зависимость наведенного заряда от расстояния коллимированного источника от центра съемной площадки размером $10 \times 10 \text{ см}^2$.

Рис.12. Форма сигнала, наведенного на площадку размером $10 \times 10 \text{ см}^2$: а - коллимированный радиоактивный источник ^{106}Ru над центром площадки, б - источник на расстоянии 5 см от центра площадки, в - источник на расстоянии 7,5 см от центра площадки, г - источник на расстоянии 10 см от центра площадки, д - источник на расстоянии 20 см от центра площадки.



На рис.11 представлено распределение амплитуды наведенного заряда в зависимости от расстояния между съемным электродом размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ и центром коллиматора β -источника. Амплитуда наведенного заряда нормирована на величину, соответствующую положению стримера под центром площадки. Источник перемещался вдоль направления, параллельного направлению проволочек. Зависимость исследована при времени интегрирования 300 нс /пунктирная кривая/ и 1 мкс /сплошная кривая/. Из рисунка видно, что уменьшение амплитуды наведенного сигнала в направлении вдоль проволочек в зависимости от расстояния между электродом и стримером не является таким быстрым, как для направления, перпендикулярного проволочкам. Это наблюдение может быть вполне правдопо-

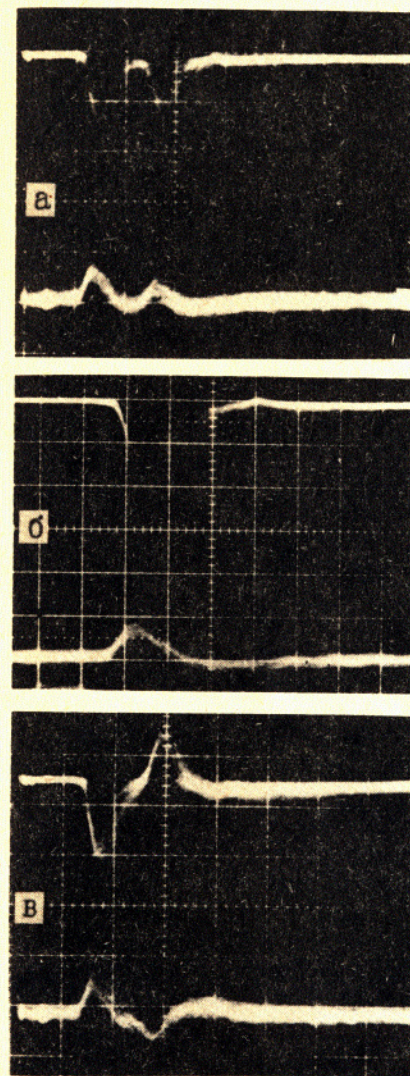


Рис.13. Форма анодного сигнала и сигнала со съемной площадки: а - дальний конец проволочки "разомкнут", б - дальний конец проволочки согласован, в - дальний конец проволочки "замкнут".

добно объяснено анизотропией сопротивления катода, вызванной наличием на профиле перегородок, покрытых резистивным слоем. По-видимому, имеет место растекание заряда, наведенного на резистивный катод непосредственно вблизи стримера, и удаленный съемный электрод ощущает этот процесс посредством емкостной связи с катодом.

При больших расстояниях от центра съемного электрода амплитуда заряда меняет знак, достигая по абсолютной величине 2-3%, и не убывает далее от расстояния. Чтобы понять причину этого явления, мы исследовали форму наведенного сигнала при различных расстояниях β -источника от центра площадки. На рис.12 показана форма наведенного сигнала при различных расстояниях между β -источником и центром площадки. Видно, что помимо основного наведенного сигнала положительной полярности, вызванного пространственным разделением электронной и ионной компонент лавины и убывающего с удалением стримера от съемной

площадки, в направлении вдоль проволочки распространяется отрицательный сигнал, амплитуда которого практически не зависит от положения β -источника. Мы полагаем, что отрицательный сигнал на съемной площадке вызывается индукцией анодного сигнала, который распространяется вдоль ячейки, содержащей сигнальную проволочку и имеющей коаксиальную структуру. Для проверки этого предположения мы провели сравнительное исследование формы сигнала с анодной проволочки и сигнала отрицательной полярности, наведенного на удаленную съемную площадку. На рис.13а показана форма сигнала

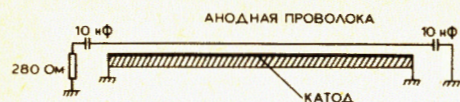


Рис.14. Схема включения сигнальной проволоочки, сводящая к минимуму влияние продольной наводки.

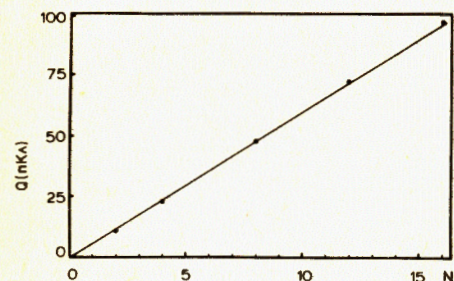


Рис.15. Зависимость заряда, наведенного на съемную площадку размером $16 \times 16 \text{ см}^2$, от числа сработавших проволоочек.

с проволоочки и с удаленной съемной площадки для случая, когда сигнальная проволоочка длиной 8 м разомкнута с одного конца. Конец проволоочки, с которого снимается анодный сигнал, через емкость 10^3 пФ нагружен на сопротивление 280 Ом . Проволоочка длиной 8 м была образована последовательным соединением 8 проволоочек модуля длиной 1 метр. Форма сигнала с удаленной съемной площадки показана на рис.13в /нижний сигнал инвертирован усилителем/. Из рисунка видно, что анодный сигнал действительно распространяется вдоль ячейки, содержащей проволоочку, как по линии с распределенными параметрами, с задержкой, равной $\sim 4 \text{ нс}$ на метр, и отражается от разомкнутого конца проволоочки. Сигнал с удаленной от места образования стримера съемной площадки повторяет форму сигналов на анодной проволоочке.

На рис.13б изображена та же картина для случая, когда дальний конец проволоочки был соединен с катодом через сопротивление 280 Ом и емкость 10^3 пФ . На рис.13в изображены эти же сигналы для случая, когда дальний конец проволоочки закорачивался через емкость на землю.

Наблюдаемый нами эффект, который мы назвали продольной наводкой, может привести к существенным помехам при измерении энергии в адронном калориметре установки ДЕЛФИ в e^+e^- -событиях с большой множественностью. Эта проблема требует тщательного рассмотрения с помощью метода Монте-Карло.

Помехи, вызываемые продольной наводкой, могут быть сведены к минимуму при включении сигнальных проволоочек по схеме, указанной на рис.14, когда прямой и отраженный сигнал компенсируют друг друга.

При работе стримерных трубок с внешним съемом информации амплитуда наводимого сигнала должна быть пропорциональна числу срабатываний детектора от частиц, прошедших через площадку съемного электрода. Знание этой зависимости весьма важно для

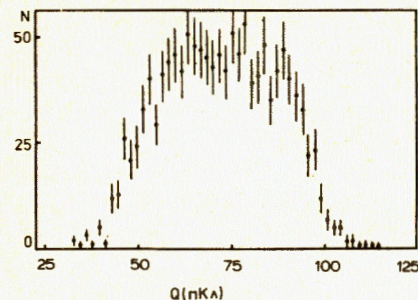


Рис.16. Амплитудный спектр сигналов со съемной площадки в случае срабатываний 12 проволоочек.

калибровки адронного калориметра. Серия измерений, имеющая целью исследование зависимости амплитуды от числа стримеров под съемной площадкой, проводилась с использованием пучка ядер ^4He с импульсом 7 ГэВ/с . Размер внешней площадки составлял $16 \times 16 \text{ см}^2$. Изменение числа срабатываний проволоочек достигалось путем отключения высоковольтного питания с некоторых проволоочек. Для данных исследований использовался 16-проволочный модуль. С увеличением кратности срабатывания амплитуда наводимого сигнала возрастает. Эта зависимость имеет линейный характер /рис.15/. На рис. 16 приведен амплитудный спектр сигналов для случая срабатывания 12 проволоочек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные стендовые испытания показали стабильность работы пластиковых стримерных трубок, простоту и удобство их эксплуатации.

Авторы благодарны В.В.Трофимову, Л.Г.Ефимову, В.Н.Садовникову за помощь в проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Battistoni G. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, vol. 176, p. 297.
2. Alekseev G.D. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, vol. 177, p. 385.
3. DELPHI technical proposal, CERN/LEPC/83-3, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 июня 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Водопьянов А.С. и др. Д1-84-405
Некоторые характеристики пластиковых стримерных трубок

В работе приводятся рабочие характеристики пластиковых стримерных трубок, выбранных в качестве детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ /ЛЭП, ЦЕРН/. Исследования проводились на стенде, созданном для испытания прототипа адронного калориметра ДЕЛФИ на пучке синхрофазотрона ОИЯИ. Аппаратура работала на линии с ЭВМ ЕС-1040.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Vodopianov A.S. et al. D1-84-405
Some Characteristics of Plastic Streamer Tubes

Operating characteristics of plastic streamer tubes, chosen as a detector of the DELPHI-LEP hadron calorimeter, are described. The work has been performed using a set-up specially designed to investigate a hadron calorimeter prototype on a beam of the Dubna synchrotron. The apparatus operated on-line with an ES-1040 computer.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984