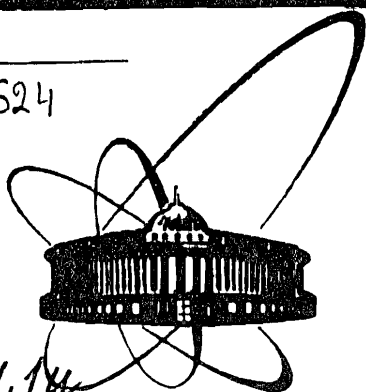


В 624



Объединенный
институт
ядерных
исследований
Дубна

С.З.Ч.14

Д1-87-328

А.С.Водопьянов, В.М.Головатюк, З.Гузик,
Н.И.Зимин, А.И.Зинченко, Р.Б.Кадыров,
В.Н.Рыжов, А.Б.Садовский, И.А.Тяпкин,
Н.А.Филатова, Э.Н.Цыганов

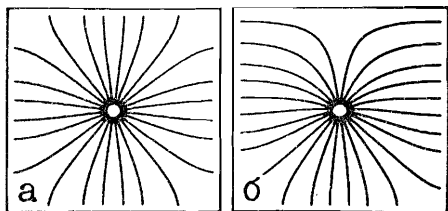
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТРИМЕРНЫХ ТРУБОК

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods"

1987

Настоящие исследования стримерных трубок были выполнены при запуске массового производства детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ^{1/} и имели своей целью изучение вопросов надежности их работы. Как было показано в работе^{2/}, наиболее распространенной причиной отказа пластиковых трубок, работающих в самогасящемся стримерном /СГС/ режиме, является возникновение самостоятельного разряда в детекторе, что обнаруживается по появлению темнового тока в анодной цепи и приводит к падению эффективности регистрации частиц. Вероятность развития этого процесса уменьшается с уменьшением резистивности катодного покрытия, что существенно повышает стабильность работы трубки. В связи с этим нами были проведены исследования детекторов с металлическим /латунным и алюминиевым/ катодом. В качестве анода применялась посеребренная проволока из бериллиевой бронзы диаметром 105 мкм. В остальном конструкция повторяла детекторы для установки ДЕЛФИ. Использовалась газовая смесь аргон-изобутан 1:3.

Из-за экранирования металлическим катодом электромагнитного поля съем сигнала с помощью внешних электродов можно было осуществить только в детекторах с незамкнутой катодной поверхностью, поэтому в качестве крышек для профилей использовались пластиковые полосы без резистивного покрытия. Возможность работы трубок такой конфигурации показана в^{3/} и иллюстрируется рис.1, где представлена форма силовых линий электростатического поля в трубках с замкнутым и незамкнутым катодом. Видно, что для двух типов детекторов конфигурация поля вблизи анодной проволоочки практически совпадает, однако сходные условия для развития газового разряда будут достигаться при несколько больших значениях анодного напряжения для трубок с незамкнутым катодом.



На рис.2 приведена счетная характеристика детектора с латунным профилем, облучаемого

Рис.1. Картина силовых линий электростатического поля в ячейке трубки: а - трубка с замкнутым катодом, б - с незамкнутым.

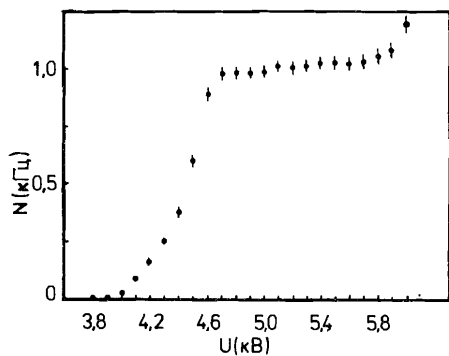
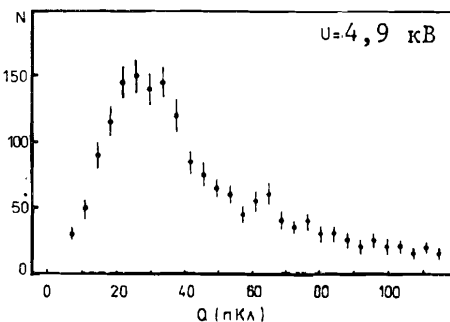


Рис.3. Амплитудный спектр анодных сигналов в детекторе с латунным профилем. Рабочее напряжение 4,9 кВ.

Рис.2. Счетная характеристика детектора с латунным незамкнутым профилем.



радиоактивным источником ^{106}Ru . Порог срабатывания регистрирующей электроники составлял 10 пкЛ, загрузка камеры - около 1 кГц на см^2 . Как видно из рисунка, длина плато составляет более 1,5 кВ, причем конец плато обусловлен началом искрового пробоя при напряжении 6,2-6,4 кВ. На рис.3 приведен типичный амплитудный спектр анодных сигналов. На рис.4 представлена зависимость амплитуды сигнала с анодной проволоочки от напряжения.

Представляло интерес выяснить различие условий наведения сигнала на внешние считывающие электроды для детекторов с металлическим профилем по сравнению с трубками с высокорезистивным катодом. На рис.5 изображена зависимость амплитуды заряда, наведенного на считывающем электроде размером $10 \times 10 \text{ см}^2$, от расстояния между центрами электрода и коллиматора радиоактивного источника, перемещаемого вдоль анодной проволоочки. Из рисунка видно, что при смещении радиоактивного источника к краю внешнего электрода происходит быстрое уменьшение амплитуды наведенного сигнала. Это указывает на отсутствие заметного растекания заряда на катоде. Уже на расстоянии 1 см

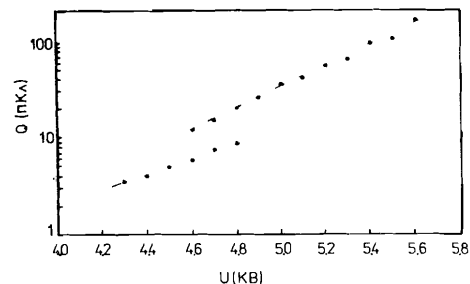


Рис.4. Зависимость амплитуды сигнала с анодной проволоочки от напряжения для детектора с латунным незамкнутым профилем.

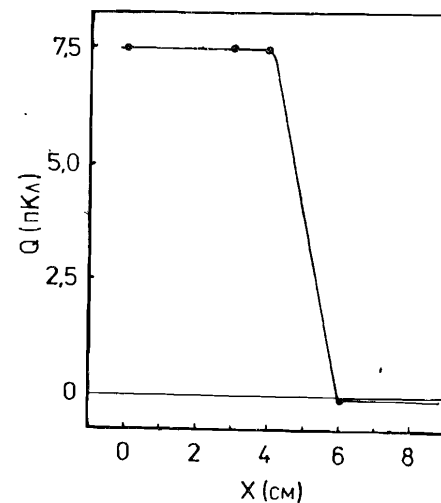


Рис.6. Форма сигналов с анодной проволоочки и внешнего электрода: а - анодный сигнал, б - коллиматор радиоактивного источника над центром электрода, в - источник сдвинут на 4 см вдоль проволоочки, г - источник сдвинут на 6 см вдоль проволоочки.

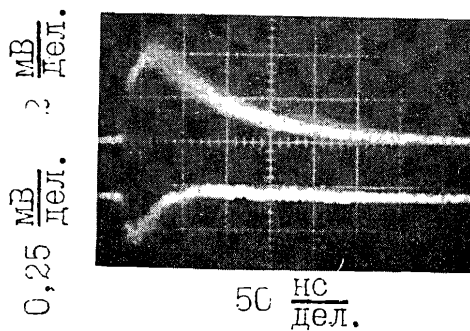


Рис.5. Зависимость наведенного заряда на внешнем электроде размером $10 \times 10 \text{ см}$ от расстояния коллимированного источника от центра электрода. Рабочее напряжение 5,0 кВ.

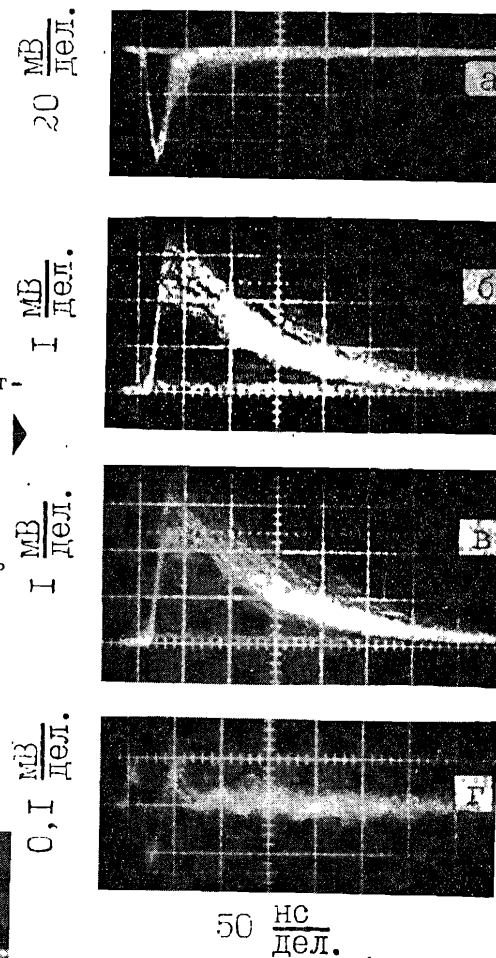


Рис.7. Форма сигнала с внешнего электрода: сверху - коллиматор радиоактивного источника над центром электрода, внизу - источник удален на 100 см вдоль проволоочки.

от края электрода амплитуда сигнала меняет знак и не изменяется далее с расстоянием.

Мы исследовали форму сигнала, наведенного на внешний электрод, при различных расстояниях радиоактивного источника от центра электрода. Полученные результаты приведены на рис.6. Отрицательный сигнал вызывается индукцией анодного сигнала, распространяющегося вдоль трубки. Для сравнения на рис.7 изображен сигнал с электрода, над центром которого находится радиоактивный источник, и сигнал с электрода, удаленного на расстояние 100 см. Следует отметить, что приведенные на рис.6 и 7 данные совпадают с результатами, полученными для детекторов с резистивным катодным покрытием^{4/}.

Основной причиной возрастания наклона счетной характеристики детекторов, работающих в СГС-режиме, является увеличение числа послеимпульсов с ростом напряжения. Образование таких послеимпульсов происходит за счет фотоэффекта в веществе катода.

Повышение анодного напряжения приводит к увеличению числа фотонов, образующихся при развитии стримера, что увеличивает вероятность возникновения послеимпульсов. На рис.8 показана форма сигнала с анода трубки при различных напряжениях /газовая смесь аргон-изобутан 1:3, латунный профиль с алюминиевой крышкой/. Рост числа послеимпульсов, которые возникают, в основном, из-за фотоэффекта в алюминиевой крышке, можно подавить, увеличивая содержание в газе многоатомных добавок. Это иллюстрирует рис.9, на котором при-

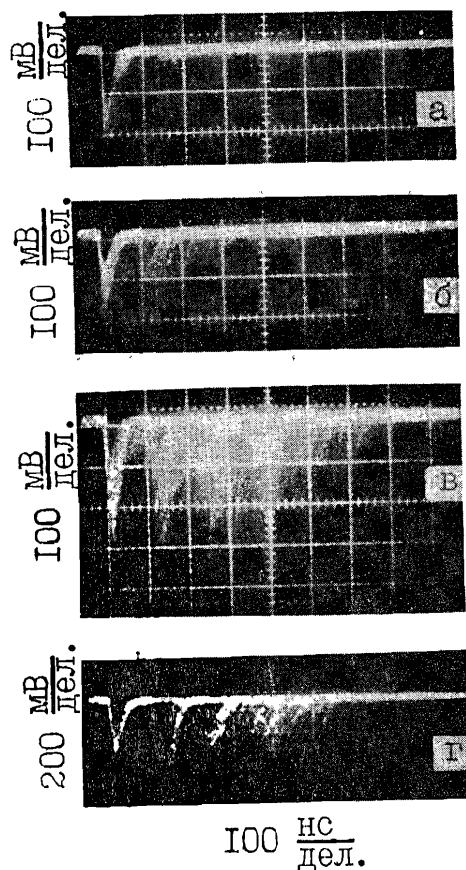
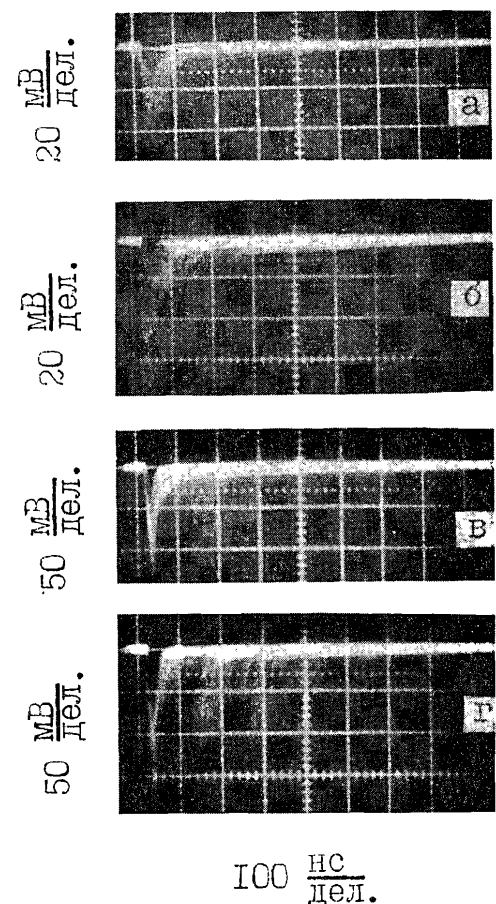


Рис.8. Форма анодного сигнала в детекторе с латунным профилем и алюминиевой крышкой /газовая смесь аргон-изобутан 1:3/: а - напряжение 5,0 кВ, б - 5,2 кВ, в - 5,4 кВ, г - 5,6 кВ.



100 нс/дел.

Рис.9. То же, что и на рис.7 /газовая смесь аргон-изобутан 1:6/: а - напряжение 5,2 кВ, б - 5,6 кВ, в - 5,8 кВ, г - 6,0 кВ.

ведена форма сигналов с анода трубки для газовой смеси аргон-изобутан 1:6.

При испытании на долговременную стабильность трубок с металлическим катодом выяснилось, что длительная работа в СГС-режиме на одном и том же участке детектора приводит к возникновению самоподдерживающегося разряда. Нами была предпринята попытка изучения закономерностей наблюдаемого явления и его количественного описания. Для установления характера процесса измерялось время от начала облучения до момента возникновения самостоятельного разряда при фиксированных условиях. Полученное распределение /рис.10/ иллюстрирует тот факт, что имеется некое выделенное время до возникновения разряда. Это указывает на пороговый характер процесса.

Одной из возможных причин возникновения самоподдерживающегося разряда может быть холодная эмиссия электронов сквозь пленки диэлектриков на катоде - так называемый мальтер-эффект^{5/}. Если внешняя поверхность такого слоя заряжена ионным током положительно, то возникающее в диэлектрике электрическое поле способствует выходу электронов из материала катода и их прохождению через пленку в находящееся за ней пространство.

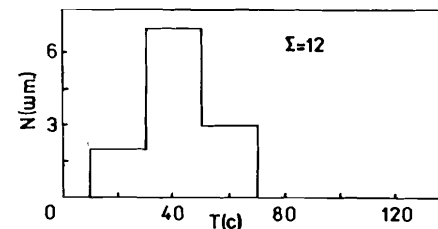


Рис.10. Распределение промежутков времени от начала облучения детектора с латунным катодом до момента возникновения самостоятельного разряда.

В нашем случае такая пленка возникла, по-видимому, в результате полимеризации изобутана и визуально наблюдалась при разборке детектора. Естественно предположить, что величина, определяющая момент перехода в самоподдерживающийся разряд, есть некоторый критический заряд, накопленный на поверхности диэлектрической пленки. Процесс накопления заряда аналогичен зарядке конденсатора в цепи с сопротивлением утечки и описывается формулой

$$q = I_0 \tau (1 - \exp(-t/\tau)), \quad /1/$$

где q - заряд, t - время, I_0 - ток зарядки, τ - постоянная разрядки. Подставляя критический накопленный заряд q_0 , получаем

$$t = -\tau \ln(1 - q_0/I_0 \tau), \quad /2/$$

где q_0 и τ - параметры процесса. Этим выражением аппроксимировалась экспериментальная зависимость времени начала самоподдерживающегося разряда от тока через исследуемый участок катода /или от загрузки детектора/. На рис.11 представлены результаты аппроксимации, из которых следует, что предложенная модель не противоречит экспериментальным данным. Полученные значения параметров составляют $q_0 = 500$ нКл и $\tau = 50$ с.

Нами было исследовано влияние неточностей, допускаемых при сборке пластиковых трубок, на работоспособность детекторов. Основное следствие этих неточностей заключается в возможном смещении анодной проволоки на расстояние до 300-400 мкм от геометрического центра. На рис.12 представлены счетные характеристики для двух вариантов трубок - с замкнутым и незамкнутым катодом. Видно, что одним из последствий смещения анодной проволоки является сдвиг начала плато счетной характеристики, который составляет около 50 В на 100 мкм.

Как было показано, верхняя граница плато счетной характеристики трубок с металлическим катодом определяется началом искрового пробоя. Поэтому исследовалось влияние смещения анодной проволоки на напряжение, соответствующее началу искрового разряда. На рис.13 показана зависимость пробойного напряжения от сдвига анодной

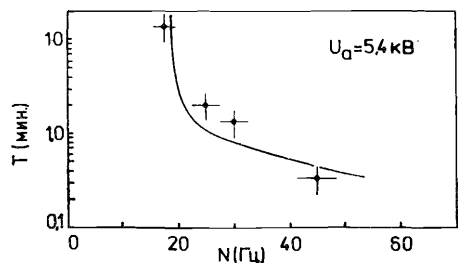


Рис.11. Зависимость промежуточного времени до появления темного тока от загрузки детектора.

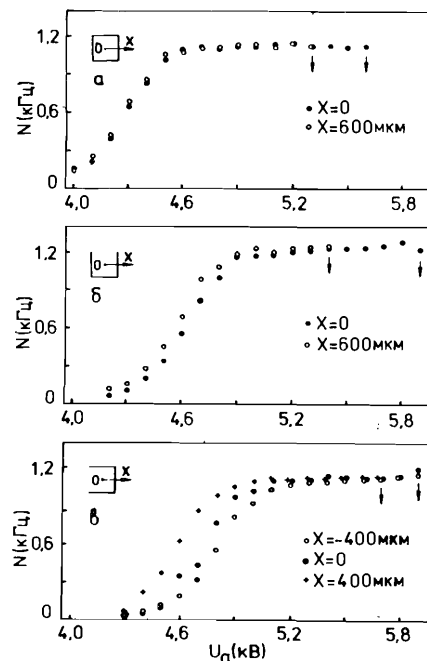


Рис.12. Счетные характеристики пластиковых трубок при различных смещениях анодной проволоки от геометрического центра: а - трубка с замкнутым катодом, б - с незамкнутым.

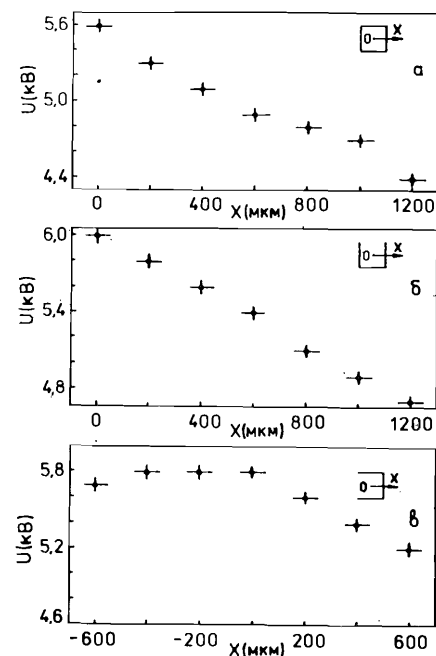


Рис.13. Зависимость напряжения искрового пробоя от смещения анодной проволоки: а - трубка с замкнутым катодом, б, в - с незамкнутым.

проволочки. Наклон этой, практически линейной, зависимости составляет около 100 В на 100 мкм, то есть длина плато из-за возможных неточностей изготовления может уменьшиться на 300-400 В.

Поскольку основной причиной возникновения темного тока в пластиковых трубках является значительный ток СГС-разряда, представляло интерес выяснить, как влияет смещение анода на ток в трубке. Полученные результаты представлены на рис.14 и 15, которые иллюстрируют изменение полного тока в трубках

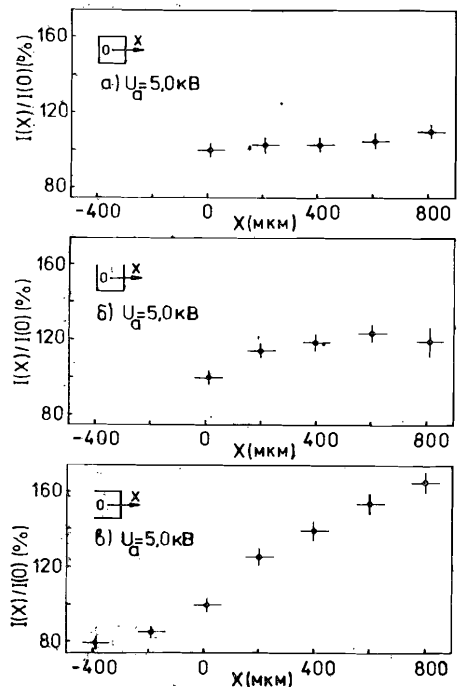
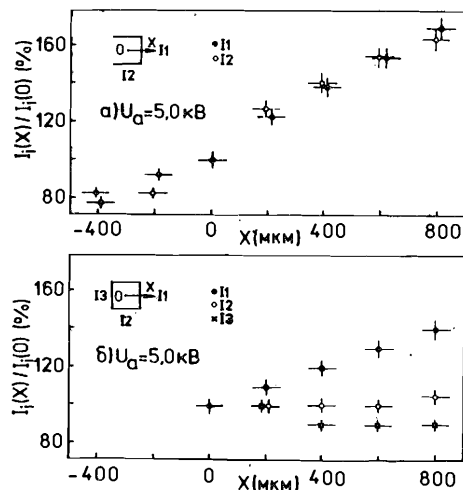


Рис. 14. Изменение полного тока в зависимости от сдвига анодной проволоочки: а - трубка с замкнутым катодом, б, в - с незамкнутым.

Рис. 15. Изменение тока через отдельные стенки детектора в зависимости от сдвига анодной проволоочки: а - трубка с незамкнутым катодом, б - с замкнутым.



с разной геометрией и изменение тока через стенки детектора. Видно, что ожидаемые на практике сдвиги анодной проволоочки могут привести к увеличению тока до 20%, что повышает вероятность отказа детекторов.

Анализ данных, приведенных нами ранее^{2/} и публикуемых в этой работе, показывает, что непосредственной причиной отказа трубок, работающих в СГС-режиме, является сильноточный характер разряда. Однако если для металлических трубок возникновение темнового тока происходит вследствие процессов "старения"^{6,7/}, то для полихлорвиниловых трубок с высокоомным графитовым покрытием такое поведение является результатом технологии изготовления резистивного слоя. Последнее может быть проиллюстрировано данными испытаний качества резистивного покрытия

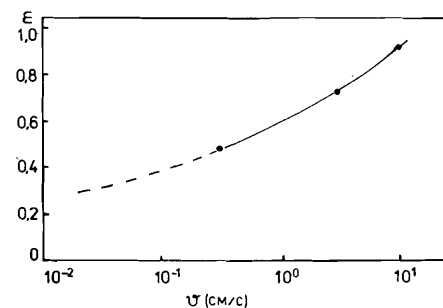


Рис. 16. Зависимость относительного числа детекторов, в которых не возник самоподдерживающийся разряд, от скорости движения радиоактивного источника /загрузка 10^3 частиц/см²·с/.

в партии из 40 полномасштабных детекторов длиной 3,5 м, изготовленных для адронного калориметра установки ДЕЛФИ. Проверка производилась с помощью сканирования движущимся радиоактивным источником по всей поверхности трубки /восемь детекторов сечением 9×9 мм² в одном газовом объеме/. Рабочее напряжение на аноде соответствовало требованию равенства средней величины заряда со считывающего электрода 20 пКл от прохождения одной частицы с минимальной ионизацией, что соответствовало около 50 пКл для заряда с анодной проволоочки. Загрузка детектора составляла 10^3 частиц/см²·с. На рис. 16 представлена зависимость относительного числа детекторов, в которых не возник самоподдерживающийся разряд, от скорости движения радиоактивного источника. Из этого рисунка можно оценить, что доля детекторов адронного калориметра ДЕЛФИ, выдерживающих постоянную загрузку 10^3 частиц/см²·с, составляет, по-видимому, не более 30%. Отказ в работе этой части трубок при загрузке менее 10^3 частиц/см²·с будет в дальнейшем обусловлен только процессом старения. У 70% трубок существующие, "врожденные", дефекты резистивного покрытия катода приводят при этой загрузке к отказам детекторов. Нужно отметить, что "бездефектные" пластиковые трубки /например, трубки с малой резистивностью графитового покрытия/ выдерживают при выбранном напряжении постоянную загрузку до 10^5 частиц/см²·с.

Таким образом, выбор данного типа детекторов для установки необходимо осуществлять с учетом возможных интенсивностей потока частиц через установку и требований к ее надежности. Для улучшения надежности работы пластиковых детекторов с резистивным катодом необходимо уменьшить коэффициент газового усиления и использовать более чувствительную считывающую электронику, что, в частности, предусмотрено на установках АЛЕФ^{8/} и ЧАРМ-2^{9/}.

ЛИТЕРАТУРА

1. DELPHI technical proposal. CERN/LEPC/83-3, 1983.
2. Filatova N.A. et al. - NIM, 1986, v.A243, p.91.
3. Battistoni G. et al. - NIM, 1983, v.217, p.429.
4. Golovatyuk V.M. et al. - NIM, 1985, v.A236, p.300.
5. Malter L. - Phys.Rev., 1936, v.50, p.48.
6. Atač M. FN-337, 1981.
7. Va'vra J. SLAC-PUB-3882, 1986.
8. Catanesi M.G. et al. - NIM, 1986, v.A247, p.438.
9. DeWulf J.P. et al. CERN-EP/86-26, 1986.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р.00 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791.	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 мая 1987 года.

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