

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P13-85-819

И.А.Голутвин, В.Х.Додохов, В.Ю.Каржавин,
Ю.Т.Кирюшин, Л.В.Комогорова, В.Н.Лысяков,
Д.Позе, С.Римани

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ
ПЛАСТИКОВЫХ СТРИМЕРНЫХ ТРУБОК

Направлено в "ПТЭ"

1985

Введение

Известно, что дрейфовые камеры, которые используются в мюонных спектрометрах нейтральных детекторов /1-4/ для измерения координат, позволяют определять их с точностью < 100 мкм. В то же время значительные размеры установок и большое число каналов обуславливают, в первую очередь, высокие требования к надёжности прибора и простоте его эксплуатации, тогда как необходимая точность определения координаты мюона, из-за многократного рассеяния в железе, как правило, больше одного миллиметра. Как альтернатива дрейфовым камерам, в этом случае может быть использован новый тип проволочных детекторов - пластиковые стримерные трубки (ПСТ), с успехом применяемые в многослойных калориметрах для измерения энергии электромагнитных и адронных ливней /5/. Сравнение с проволочными камерами обнаруживает такие достоинства ПСТ:

- технология изготовления*) готовых к сборке дешевых элементов позволяет ускорить создание детектора, значительно сократив при этом объем механических работ и материальных затрат;
- применение в стримерных трубках толстой (~100 мкм) анодной проволоки делает сборку детектора проще и увеличивает его надёжность, снижая риск отказа вследствие обрыва проволоочки;
- стабильная работа с широким плато по эффективности сравнительно просто достигается при использовании в детекторе обычных газовых смесей;
- короткое время нарастания импульса (~10 нс) позволяет измерять время дрейфа электронов, а большая величина сигнала с проволоочки (~50 мВ/50 Ом), характерная для работы в стримерном режиме, делает проще создание многоканальной электроники;

*) Трубки из поливинилхлорида производятся методом экструдирования длиной до 8 метров. Разброс геометрических размеров при этом находится в пределах 100 мкм.



- применение в ПСТ резистивного катода позволяет организовать измерение второй координаты по распределению заряда, индуцированного на внешних электродах, конструктивно независимых от активной части детектора.

В данной работе представлены результаты исследования пространственного разделения двух методов измерения координат частиц с использованием ПСТ: один заключается в измерении центра тяжести распределения заряда на внешних электродах, второй - в измерении времени дрейфа электронов.

Экспериментальная аппаратура

Стримерные трубки, аналогичные использованным в работах [6-8], представляет собой профиль из поливинилхлорида, состоящий из 8 ячеек сечением $9 \times 9 \text{ мм}^2$, разделенных стенкой толщиной 1 мм. Внутренняя поверхность профиля покрыта графитом и служит резистивным катодом. В качестве анода была использована золоченая вольфрамовая проволока диаметром 100 мкм. Профиль закрывался крышкой из пластика толщиной 0,5 мм, которая тоже имела резистивное покрытие. Существенно то, что покрытия профиля и крышки имели разные сопротивления: если для профиля оно было, по нашим измерениям, $\sim 50 \text{ кОм/см}$, то для крышки - больше 200 кОм/см . Два таких профиля помещались в пластмассовый пенал, где имелись выводы сигнала с каждой анодной проволоочки, ввод, через который отрицательное высокое напряжение подавалось на резистивный катод, вход и выход для газа.

Такой пенал, длиной в один метр, исследовался нами в условиях, когда самогасящий стримерный разряд (SU разряд) в трубках возбуждался электронами от радиоактивного источника Ra^{106} или космическими частицами.

В первом случае пенал помещался между двумя листами фольгированного стеклотекстолита (рис. 1), на внутренних сторонах которых было нанесено по 12 проводящих полосок шириной 20 мм, располагавшихся под углом 90° к анодным проволоочкам. Внешняя сторона каждого листа заземлялась. Размещавшийся за пеналом триггерный сцинтилляционный счётчик, размером $3 \times 1 \text{ см}^2$, был выключён в совпадения с анодными проволоочками, что позволяло отбирать электроны с энергией $> 1,5 \text{ МэВ}$, пролетающие через стримерные трубки. Число таких электронов составляло ~ 600 в мин., тогда как фон случайных совпадений был на уровне $0,1\%$.

Величина анодного сигнала и сигналов с полосок после усиления измерялась зарядо-цифровым преобразователем, на который одновременно с измеряемым поступал стробирующий импульс длительностью 200 нс.

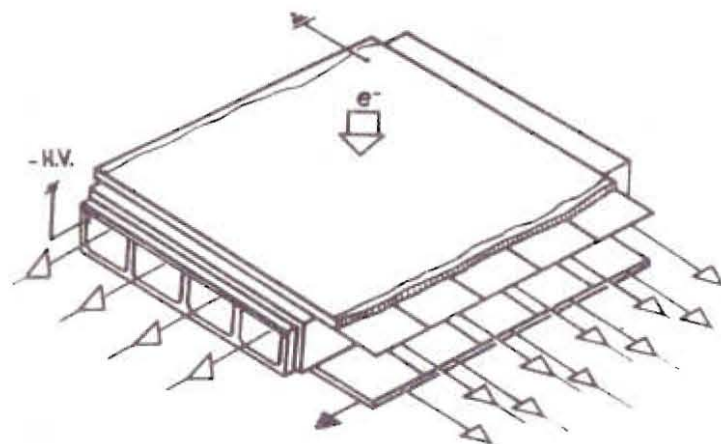


Рис. 1. Схема измерения заряда, индуцированного на внешних электродах ПСТ.

При экспозиции в космических лучах для отбора частиц использовался телескоп из двух сцинтилляционных счётчиков и 6 дрейфовых труб, изображённый на рис. 2.

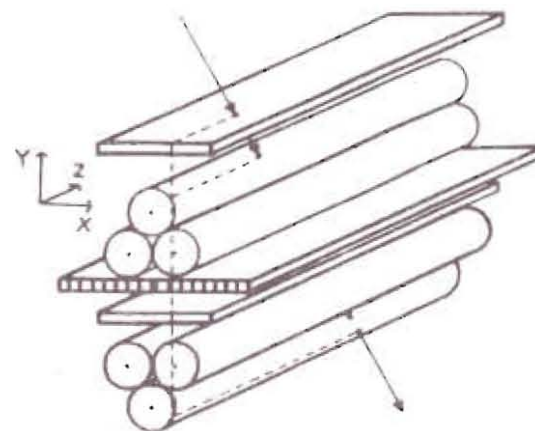


Рис. 2. Схема телескопа для экспозиции ПСТ в космических лучах.

Для снижения фона случайных совпадений каждый сцинтиллятор размером $100 \times 10 \times 1 \text{ см}^2$ просматривался четырьмя ФЭУ, включенными в совпадения с тем, чтобы триггерный сигнал вырабатывался от совпадений всех восьми ФЭУ. Скорость счёта импульсов при этом была равна $\sim 300/\text{мин}$ при уровне фона 0,06%. Дрейфовые трубы диаметром 5 см и длиной 1 м, заполненные смесью 80% аргона + 20% метана, работали в режиме пропорционального усиления. Измерение времени дрейфа осуществлялось 8-канальным время-амплитудным преобразователем, шесть каналов которого определяли время дрейфа электронов в дрейфовых трубах, а два - время дрейфа в стримерных трубах.

Экспериментальные результаты

Характеристики стримерного разряда. Для заполнения пластиковых стримерных трубок использовалась смесь аргона с изобутаном в пропорции 1:3. При прохождении частицы самогасящий стримерный разряд легко возбуждался в этой смеси, начиная с напряжения 4,2 кВ. Импульсы СГС разряда при этом имели характерную для них длительность $50 \pm 100 \text{ нс}$ и короткое время нарастания $5 \pm 10 \text{ нс}$. Величина заряда, генерируемого в процессе развития стримера, достигала значения $\geq 10 \text{ нКл}$ (рис. 3) и росла с напряжением на катоде.

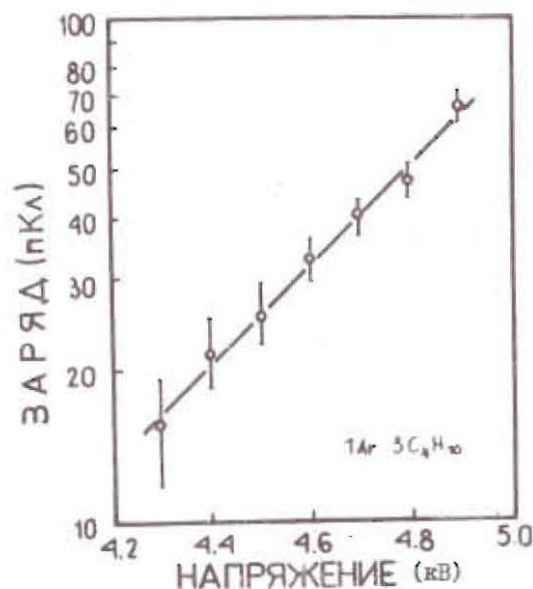


Рис. 3. Амплитудная характеристика СГС разряда в стримерных трубках.

Спектр, приведенный на рис. 4, даёт представление о диапазоне амплитуд, регистрируемых при напряжении 4,7 кВ, соответствующем эффективной генерации одного стримера.

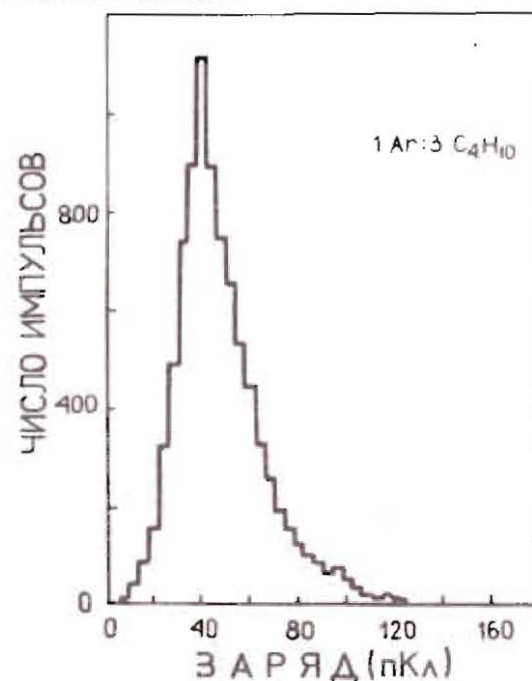


Рис. 4. Спектр амплитуд СГС разряда, полученный при напряжении 4,7 кВ.

Эффективность регистрации частиц определялась нами как отношение числа срабатываний по крайней мере в одной из 10 стримерных трубок, перекрываемых триггерными сцинтилляционными счётчиками, к общему числу триггеров, выработанных схемой совпадений. В области плато эффективность регистрации без поправок на геометрию телескопа равнялась 95%. Ход кривой эффективности (рис. 5) совпадал со счётной кривой, полученной для электронов от Ru^{106} , что указывает на эффективную регистрацию космических частиц без каких-либо ложных импульсов. Для оценки возможного вклада послепульсов, которые могут возникать как результат интенсивного ультрафиолетового излучения, возбуждаемого стримером, измерения скорости счёта электронов были проделаны с разными временами формирования выходного импульса - 100 нс и 1 мкс. В том и в другом случае скорости счёта в области плато совпадали, что говорит об эффективном подавлении ультрафиолетового излучения боль-

шим количеством изобутана в смеси. Как видно из рис. 5, содержание газящей компоненты существенно влияет на работу стримерных трубок - для смеси в пропорции 1:2 выход из плато наступает значительно раньше.

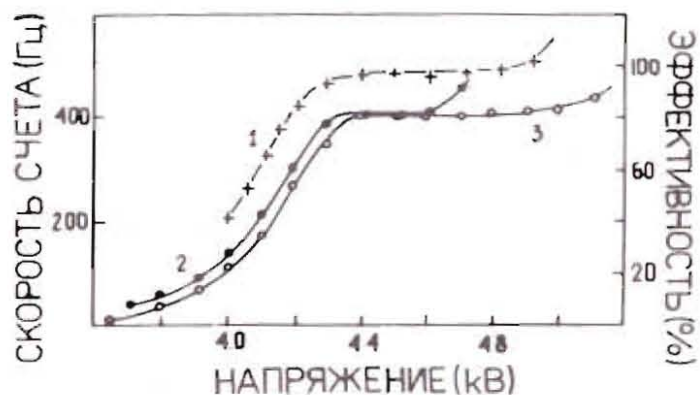


Рис. 5. Кривая эффективности (1) и счётные характеристики ПСТ, заполненных смесями аргона с изобутаном в пропорции 1:2 (2) и 1:3 (3).

Регистрация индуцированного заряда

Мерой пространственного разрешения в данных измерениях служила разность $\Delta = X_1 - X_2$, где X_1 и X_2 - координаты центров тяжести распределений заряда, индуцированных на соответствующих координатных плоскостях при прохождении электрона через трубку. Полученное при напряжении 4,7 кВ распределение значений Δ приведено на рис. 6. Лучшее значение среднеквадратичного отклонения σ_Δ величины Δ было равно 0,75 мм и мало менялось в области плато (рис. 7).

Представляет интерес вклад в эту величину каждой из координатных плоскостей. Ранее [9-10] было показано, что при заданной конфигурации электродов форма распределения индуцированного на них заряда зависит от сопротивления резистивного катодного слоя, которое, как уже было отмечено, отличалось для профиля и крышки. Представленные на рис. 8 нормированные распределения, усредненные по 300 событиям, хорошо иллюстрирует тот факт, что большая проводимость катода приводит к явному расширению распределения заряда, регистрируемого со стороны профиля.

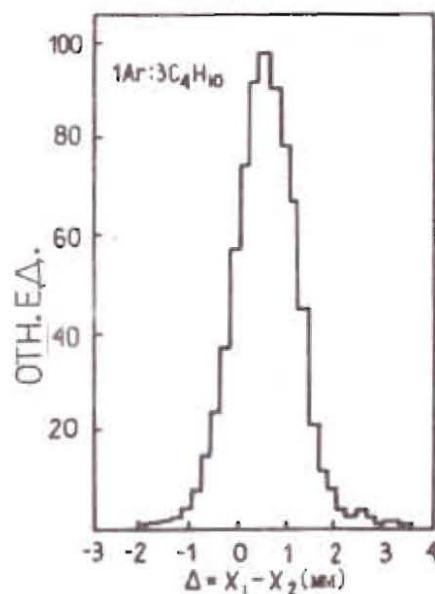


Рис. 6. Распределение значений $\Delta = X_1 - X_2$ при напряжении 4,7 кВ

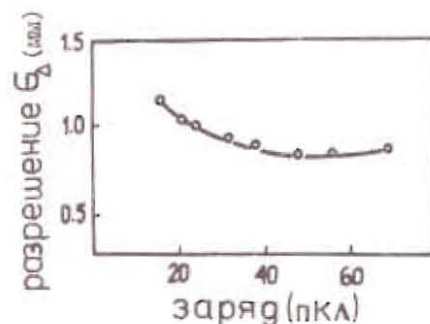


Рис. 7. Зависимость среднеквадратичного отклонения величины Δ от величины анодного сигнала.

Кроме того, отличие в проводимости проявлялось также в том, что, как видно из рис. 9 (а,б), суммарный заряд $\sum Q_1^{пр}$ с полос, расположенных со стороны профиля, в среднем был на 10% меньше, чем суммарный заряд $\sum Q_1^{кр}$, регистрируемый со стороны крышки. Очевидно, что в силу различия в форме распределений, вклады координатных плоскостей в среднеквадратичное отклонение σ_Δ неодинаковы, поэтому точность измерения координат только в одной плоскости не должна превышать величины $\sigma_x = 0,75/\sqrt{2} = 0,53$ мм.

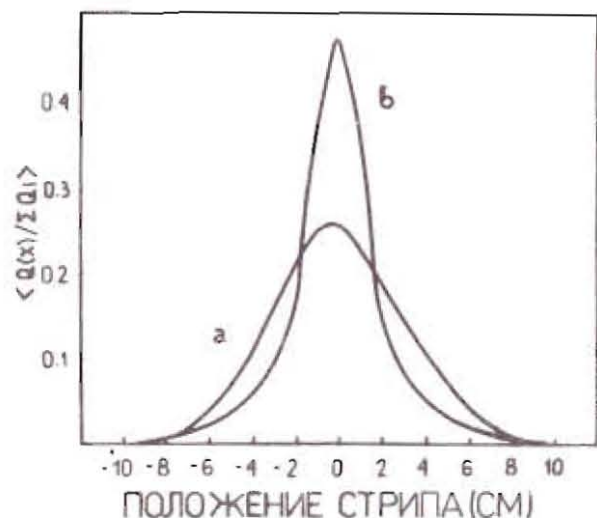


Рис. 8. Распределения индуцированного заряда со стороны профиля (а) и со стороны крышки (б), усредненные по 300 событиям.

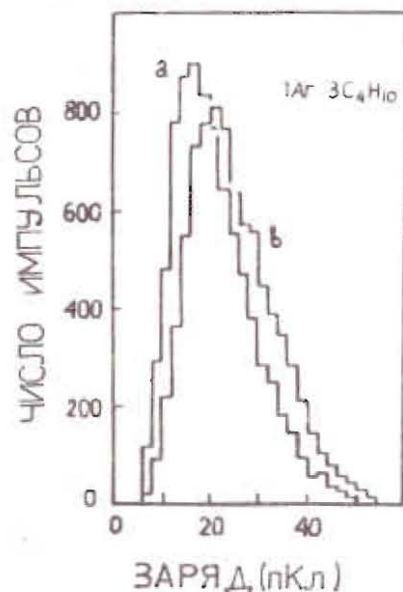


Рис. 9. Распределение значений сумм зарядов со всех координатных полосок ΣQ_i , $i=1 \div 12$ для плоскости, расположенной со стороны профиля (а) и со стороны крышки (б), при напряжении 4,7 кВ.

Дрейфовые характеристики стримерных трубок

Для того, чтобы оценить точность этого метода, программным путем в телескопе отбирались вертикальные треки, проходившие через четыре дрейфовые трубы. Для каждого трека определялось значение его проекции S на ось X в стримерной трубке, а также соответствующее этому значению время дрейфа t . Вычисленная затем величина скорости дрейфа $V_{др.} = S/t$ заносилась в одну из девяти гистограмм, соответствующих интервалам $X_i \leq S < X_{i+1}$, ($X_{i+1} - X_i = 0,5$ мм), на которые разбивался весь дрейфовый промежуток $0 \div 4,5$ мм. При этом предполагалось, что для используемых напряжений электрическому полю везде в трубке соответствовало насыщение скорости дрейфа. Приведенные на рис. 10 точки представляют собой средневзвешенные значения скорости дрейфа, вычисленные для полученных распределений, а статистические ошибки, указанные здесь же, являются по существу эффективными ошибками, которые включают погрешности в определении положения анодной проволочки и трека частицы в стримерной трубке, а также точность измерения времени дрейфа. Ошибка в определении проекции трека, учитывавшая координатную точность дрейфовых труб (~ 120 мкм) и геометрию телескопа, составляла ~ 60 мкм. Ошибка в определении положения анодной проволочки принималась равной 100 мкм, а погрешность в измерении времени дрейфа 1 нс. С учетом вкладов этих ошибок точность определения координаты, связанная с дрейфом электронов в стримерной трубке, будет находиться в пределах $110 < \delta_x < 350$ мкм, в зависимости от места прохождения частицы.



Рис. 10. Средневзвешенные значения скорости дрейфа в зависимости от места прохождения трека для смеси аргона с изобутаном в пропорции 1:3.

Оценки пространственного разрешения, приводимые в работах /II-12/, дают значение $\sigma_x < 250$ мкм, что хорошо согласуется с полученным результатом. Среднее значение скорости дрейфа ($41,8 \pm 4,3$) мкм/нс, вычисленное по данным кривой рис. 10 (а также значение (41 ± 9) мкм/нс, вычисленное для суммарного распределения скорости дрейфа, представленного на рис. 11), совпадают с результатами работы /II/, где была измерена скорость дрейфа электронов в смеси аргона с большим (1:3) количеством изобутана.

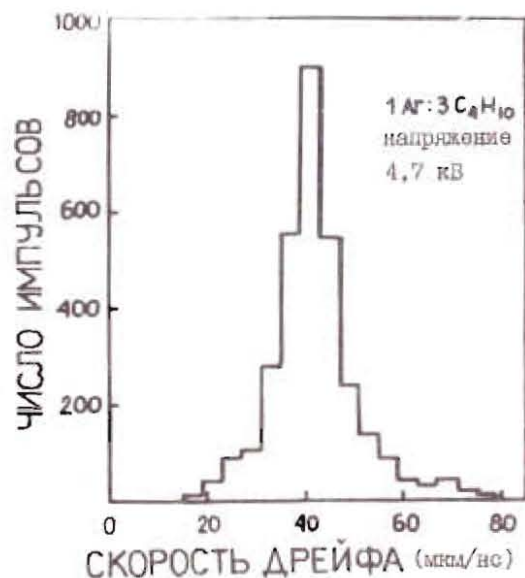


Рис. 11. Распределение значений скорости дрейфа, зарегистрированных в промежутке $0,5 \div 4,5$ мм.

Эти же авторы заметили, что вблизи анода в области, ограниченной радиусом 0,5 мм, эффективность регистрации ниже, чем в остальной части стримерной трубки. В наших измерениях число регистрируемых здесь частиц было на (8-10)% меньше, чем в других интервалах. Наряду с этим мы заметили, что время дрейфа, измеренное для треков с $S < 0,5$ мм, в значительном числе случаев было больше, чем ожидаемое для данного положения трека в трубке. Следствием этого было систематическое занижение средневзвешенного значения скорости дрейфа в интервале $0 \div 0,5$ мм.

Оба наблюдаемых явления можно объяснить в рамках модели /13-14/, согласно которой переход от ограниченно-пропорционального к стримерному разряду связан с насыщением положительного пространственного заряда. Насыщение (до величины $\sim 10^7$ ионов) в плотном центре зарядового облака должно зависеть от плотности электронов первичной ионизации, дрейфующих вдоль силовых линий электрического поля, распределенных так, как это представлено на рис. 12. В частности, когда треки проходят вблизи анода (случай а), развитие процесса лавинообразования с большой вероятностью происходит вокруг анода, который экранирует лавины друг от друга. Это может приводить либо к увеличению времени, необходимого для роста пространственного заряда до критической величины, либо к отсутствию стримера вообще.

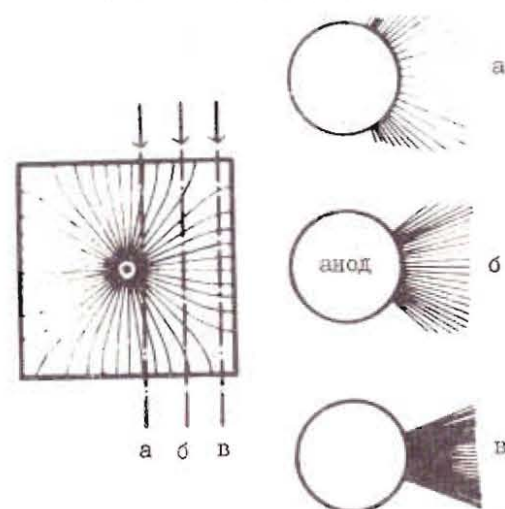


Рис. 12. Схема силовых линий электрического поля в ПСТ.

Основываясь на указанной модели, можно предположить, что устранение этих эффектов в стримерных трубках возможно при использовании более подходящей многокомпонентной газовой смеси или повышенного давления.

Заключение

Мы проверили возможность точного определения координат частиц с помощью детекторов, собранных на основе пластиковых стримерных трубок. Метод, основанный на определении центра тяжести заряда, индуцированного на внешних электродах, в наших измерениях обеспечивал пространственное разрешение $\sigma_x \approx 0,5$ мм, а точность метода, основан-

ного на измерения времени дрейфа, была $110 \text{ мкм} < \sigma_x < 350 \text{ мкм}$. В том и другом случае, однако, разрешение выше, чем требование, устанавливаемое для пространственного разрешения координатных детекторов спектрометров мюонов с намагниченным железом. В силу этого мы полагаем возможным использование пластиковых стримерных трубок необходимой длины в качестве рабочих элементов таких установок.

Была также измерена скорость дрейфа электронов в смеси аргона с большим количеством изобутана, которая применяется в СГС режиме. Наш результат $v_{\text{др}} = (41,8 \pm 4,3) \text{ мкм/нс}$ отличается от хорошо известных данных работы /15/, полученных для газовых смесей с максимальной концентрацией изобутана 36%, но совпадает с результатами работ /11-12/ измеренными для такой же смеси $1\text{Ar} : 3\text{C}_4\text{H}_{10}$, что использовалась в настоящей работе.

В заключение авторы выражают признательность Л.С.Ларабашу, Д.А.Смолину и В.С.Хабарову за полезные обсуждения, а также П.М.Лустову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.Marel et al., Nucl. Instr. and Meth., 1977, V. 141 p.43
M.Holder et al., Nucl. Instr. and Meth., 1978, V.148, p.235.
2. D.C.Cheng et al., Nucl. Instr. and Meth., 1974, V.117, p.157.
3. A.C.Benvenuti et al., Nucl. Instr. and Meth. 1984, V.226, p.330.
4. Л.С.Ларабаш и др., ОИЯИ I,2,13-63-81, стр. 9, Дубна, 1983.
5. P.Samrana, Nucl. Instr. and Meth. 1984, V.225, p.505.
6. G.Battistoni et al., Nucl. Instr. and Meth., 1980, V.176, p.297.
7. А.С.Водошнянов и др., ОИЯИ Д1-84-405, Дубна, 1984.
8. G.Battistoni et al., Nucl. Instr. and Meth., 1983, V.217, p.433.
9. G.Battistoni et al., Nucl. Instr. and Meth., 1982, V.202, p.459.
10. E.Jarocci et al., Nucl. Instr. and Meth., 1983, V.217, p.30.
11. K.Fujii et al., Nucl. Instr. and Meth., 1984, V.225, p.23.
12. M.Baubillier et al., Nucl. Instr. and Meth., 1983, V.217, p.205.
13. M.Atak et al., Nucl. Instr. and Meth., 1982, V.200, p.345.
14. Г.Д.Алексеев и др. УЧАН, 1982, т.13, № 3, стр. 703.
15. A.Breskin et al., Nucl. Instr. and Meth., 1974, V.119, p.9.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 ноября 1985 года.

Голутвин И.А. и др.

P13-85-819

Исследование пространственного разрешения
пластиковых стримерных трубок

Проверялась возможность использования детекторов, собранных на основе пластиковых стримерных трубок, для точного определения координат частиц. Метод, основанный на определении центра тяжести заряда, индуцированного на внешних электродах, обеспечивал пространственное разрешение $\sigma_x \approx 530 \text{ мкм}$, а разрешение метода, основанного на измерении времени дрейфа, составило $110 \text{ мкм} < \sigma_x < 350 \text{ мкм}$. Скорость дрейфа электронов, измеренная при этом в газовой смеси аргона с большим количеством изобутана $1\text{Ar} : 3\text{C}_4\text{H}_{10}$, имела величину $(41,8 \pm 4,3) \cdot 10^5 \text{ см/с}$. Полученная в том и в другом случае координатная точность лучше точности, требуемой для мюонных спектрометров с намагниченным железом, что позволит применять пластиковые стримерные трубки для определения траектории частиц в таких установках.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой.

Golutvin I.A. et al.

P13-85-819

Investigation of Plastic Streamer Tube Space Resolution

A possibility to use detectors assembled on the base of plastic streamer tubes was verified for precise particle coordinate measurements. The induced charge centroid method provides the space resolution of about $530 \text{ }\mu\text{m}$, and the drift time measurement method gives the resolution of $110 \text{ }\mu\text{m} < \sigma_x < 350 \text{ }\mu\text{m}$. The measured electron drift velocity was $(41,8 \pm 4,3) \cdot 10^5 \text{ cm/s}$ in the argon-isobutane gas mixture with a high isobutane concentration ($1\text{Ar} : 3\text{C}_4\text{H}_{10}$). In both cases the resolution is better than that required for the muon spectrometers with magnetized iron. Hence it will permit to use the plastic streamer tubes for particle trajectory determination in such installations.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985