

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1489/83

21/3-83
P1-83-12

А.С.Водопьянов, Т.С.Нигманов,
В.Д.Рябцов, Э.Н.Цыганов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ВРЕМЯ-КООРДИНАТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
ПО π -е И К-е РАССЕЯНИЮ ПРИ $p=250$ ГэВ/с

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

1983

1. ВВЕДЕНИЕ

Применение дрейфовых камер в физическом эксперименте требует нахождения формулы преобразования измеряемых временных отсчетов в пространственные координаты. В данной работе мы ставили своей целью корректно определить вид время-пространственной зависимости для 120 дрейфовых нитей. Знание характеристик дрейфовых камер было необходимо для достижения наилучшего углового разрешения треков частиц в экспериментах по π -е и К-е-рассеянию.

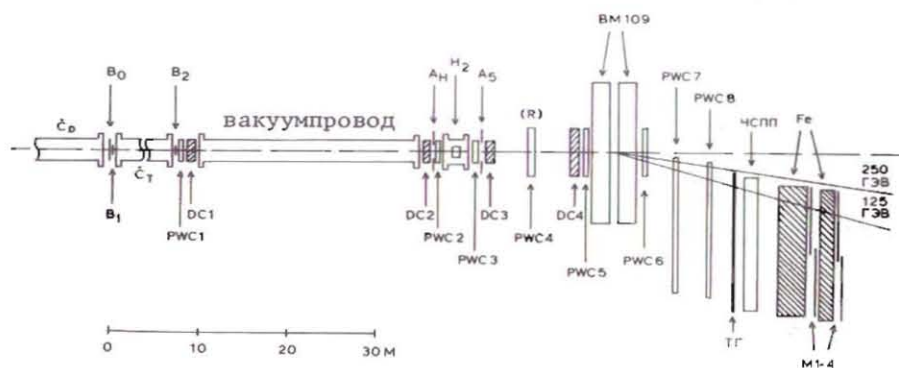


Рис.1. Схема экспериментальной установки.

На рис.1 приведена схема экспериментальной установки. Дрейфовые /2/ DC1 и DC2/ и пропорциональные /3/ PWC1 и PWC2/ камеры регистрировали координаты и углы входа первичной частицы в мишень H_2 . Дрейфовые /DC3 и DC4/ и пропорциональные /PWC3, PWC4 и PWC5/ камеры измеряли координаты и углы вторичных частиц. Детекторы PWC6, PWC7 и PWC8 позволяли определить импульс частицы по отклонению траектории в магнитах BM109 /1/. Черенковский счетчик полного поглощения /ЧСПП/ идентифицировал электроны /1/. Пучок формировался черенковским C_T и сцинтилляционными счетчиками B_0 , B_1 , B_2 и A_H . Сигналы с ТГ /триггерного годоскопа/ и счетчика A_5 были необходимы в схеме запуска установки. Счетчики М1-4 позволяли идентифицировать мю-мезоны и были размещены за фильтром Fe /1/.

Определение время-пространственной зависимости камер DC1-4, с использованием информации с детекторов PWC1-5 было выполнено на начальной стадии анализа экспериментальных данных.

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДРЕЙФОВЫХ И ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КАМЕР

Длина дрейфового промежутка в DC камере равна 21 мм. Каждый DC модуль состоит из 4X и 4Y плоскостей. Рабочая площадь первого и второго модулей равна $84 \times 84 \text{ мм}^2$, третьего - $126 \times 126 \text{ мм}^2$, четвертого $252 \times 252 \text{ мм}^2$. Количество сигнальных нитей в модулях - 20, 20, 28 и 52 соответственно. Газовая смесь состояла из аргона /67,2%/, изобутана /30,3%/, и метилалля /2,5%/. Типичная напряженность формирующего поля была равна - 1,7 кВ/см, анодное напряжение - +1,7 кВ.

Каждая PWC секция состояла из 2X и 2Y плоскостей. Шаг намотки проволоки в одной плоскости равен 2 мм. Плоскости смещены таким образом, чтобы эффективный шаг сигнальных нитей в одной секции составлял 1 мм. Рабочая площадь 1,2 и 3 секций PWC равна $128 \times 128 \text{ мм}^2$, секции 4 и 5 имели площадь $256 \times 256 \text{ мм}^2$. Секция 4 была повернута на 45° вокруг центра рабочей площади.

3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ t И КООРДИНАТЫ s

Время дрейфа t , содержащее информацию о координате прохождения частицы относительно данной сигнальной нити, регистрировалось с помощью время-цифрового преобразователя /ВЦП/. Время t вычислялось как $t = N/K$, где N - отсчет ВЦП и K - упаковочный коэффициент. В эксперименте были использованы преобразователи типа LRS2228E. Один отсчет ВЦП равнялся приблизительно 0,25 нс. Полный интервал измеряемого времени составлял ≈ 500 нс. При отсутствии сигнала в таком интервале времени в преобразователе запоминалось фиксированное число - "Переполнение".

Упаковочный коэффициент K , индивидуальный для каждого канала, определялся следующим образом. В специальном режиме измеряемый интервал времени устанавливался общим для всех каналов калиброванным блоком задержек. В этом режиме регистрировались отсчеты ВЦП для пяти выбранных интервалов, которые были заданы с шагом 100 нс. Для каждого временного интервала определялся соответствующий средний отсчет преобразователя. Затем средние отсчеты аппроксимировались линейной зависимостью от времени. Для данного типа преобразователя величина нелинейности не превышала 0,1%. Полученный таким образом параметр наклона прямой представлял собой упаковочный коэффициент для данного ВЦП.

Как указывалось выше, пространственная траектория частицы определялась с помощью пропорциональных камер. Для сработавшей

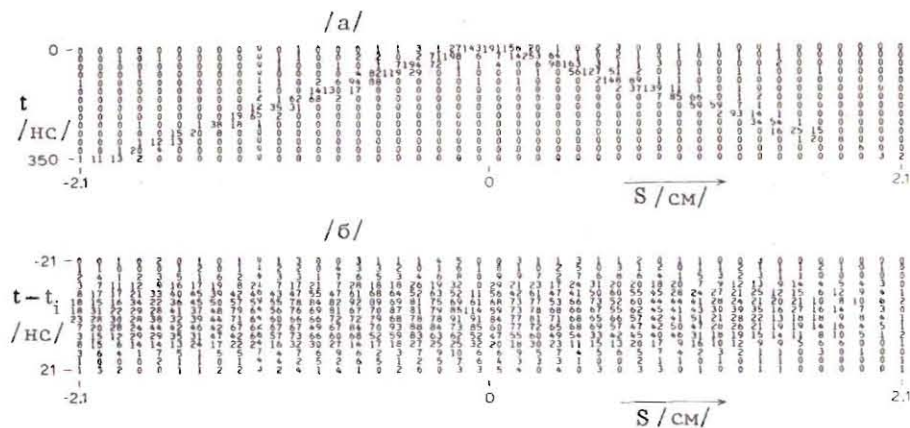


Рис.2. Иллюстрация а/ зависимости времени дрейфа t от координаты s , б/ зависимости разности времени $t - t_i$ от координаты s .

сигнальной нити в дрейфовой камере проекция восстановленного трека вычислялась как

$$s = p_0 + d \cdot Z_{DC} - s_0, \quad /1/$$

где p_0 и d - координата и параметр наклона трека соответственно. Величина Z_{DC} является Z -координатой сигнальной нити /направленной вдоль оси пучка/, s_0 - горизонтальной /либо вертикальной/ координатой нити. Таким образом, для каждого срабатывания сигнальной нити, опуская из рассмотрения небольшую долю фоновых событий, можно вычислить величины t и s .

На рис.2а показана зависимость времени t от координаты s . По вертикальной оси отложено время с шагом гистограммы 25 нс, по горизонтальной - координата s с шагом 1 мм. Шаг и начало отсчета по горизонтали выбраны таким образом, чтобы дискретные координаты с пропорциональных камер находились в центре столбца. Это распределение иллюстрирует приблизительно линейный характер зависимости времени от координаты. Для улучшения точности расчетов построение распределения было модифицировано следующим образом. От текущего времени t вычиталось фиксированное число t_i , которое выбиралось приблизительно равным ожидаемому среднему времени в i -том столбце. Если t_i выбрано правильно, то распределение в столбце будет симметричным с центром вблизи нуля. Рис.2б иллюстрирует зависимость разности времени $t - t_i$ от координаты s . Шаг по вертикальной оси равен 3 нс. Такое распределение позволяет более точно вычислить среднее время в каждом столбце

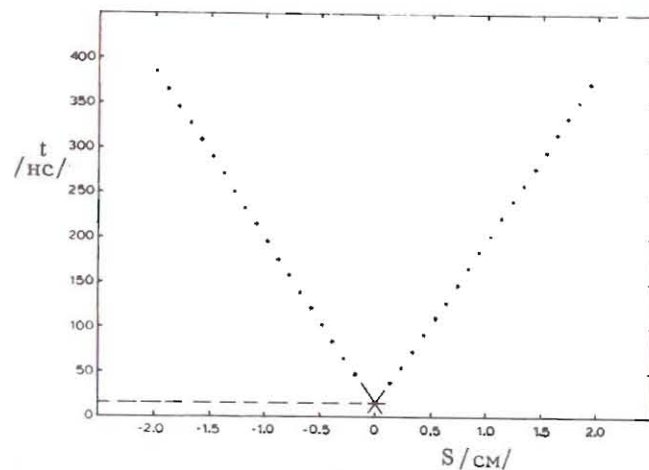


Рис.3. Время-координатная зависимость дрейфовой камеры.

це. Результаты вычисления среднего времени дрейфа в зависимости от координаты частицы приведены на рис.3. Статистические ошибки не превышают размеров точек. Точки в начале и в конце дрейфового интервала опущены. Дискретный характер s не позволяет в этих точках вычислить правильную среднюю координату.

4. АППРОКСИМАЦИЯ ВРЕМЯ-КООРДИНАТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ

Время-координатная зависимость, приведенная на рис.3, была аппроксимирована линейной и квадратичной функциями. На рис.4а представлена разность линейной функции и реальной координаты. Рисунок свидетельствует о наличии на уровне 1-2% нелинейности время-координатной зависимости. Обратная величина скорости дрейфа для этого случая равна 18,7 нс/мм. Время дрейфа на единицу длины, оцененное по сумме времени с трех сигнальных нитей, равно 19,2 нс/мм. Расхождение в этих числах объясняется имеющейся нелинейностью. На рис.4б по вертикальной оси приведены отклонения тех же данных от квадратичной функции. Квадратичный полином

$$t = As^2 + Bs + C \quad /2/$$

достаточно хорошо описывает эту зависимость. Коэффициенты полиномов, полученные в результате фитирования данных "левого" и "правого" дрейфовых промежутков, приведены в табл.1. Величины коэффициентов и их ошибки свидетельствуют о том, что "левый" и "правый" дрейфовые промежутки достаточно идентичны.

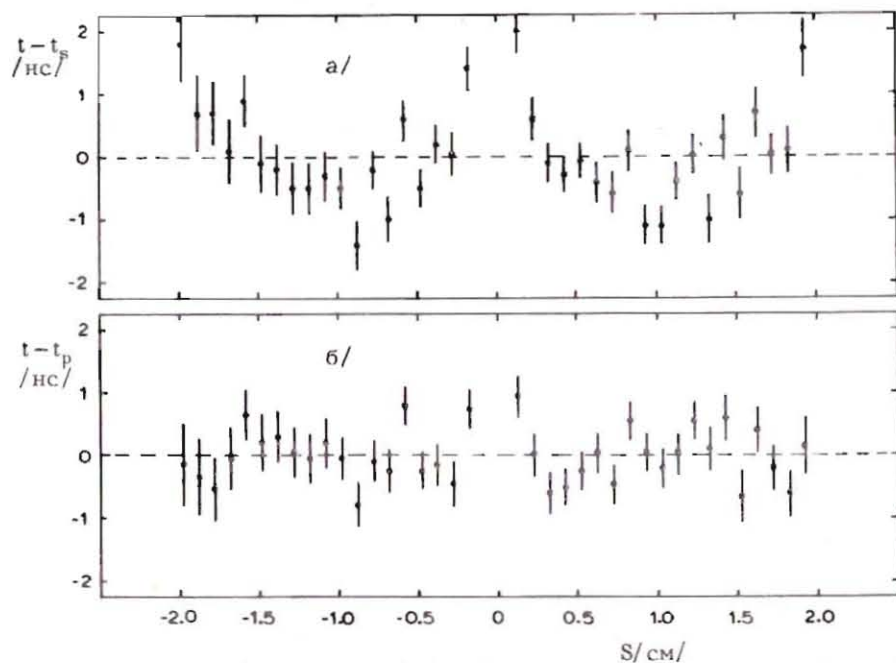


Рис.4. Отклонения экспериментальных данных по время-координатной зависимости от а/ линейной аппроксимирующей функции, б/ квадратичной функции.

Сравнение рис.4а и 4б привело нас к решению аппроксимировать время-координатную зависимость дрейфовой камеры полиномиальной функцией.

Горизонтальная координата точки пересечения аппроксимирующих линий на рис.3 представляет собой позицию чувствительной дрейфовой нити, s_0 , в системе координат пропорциональных камер. Координата s_0 определена решением уравнения

$$(A_1 - A_2) s_0^2 + (B_1 - B_2) s_0 + (C_1 - C_2) = 0, \quad /3/$$

где величины А, В и С приведены в табл.1, индексы означают: 1 - "левый", 2 - "правый" промежутки.

Вертикальная координата точки пересечения аппроксимирующих линий на рис.3 является началом отсчета времени, t_0 . Время t_0 соответствует минимальной задержке сигнала, когда частица прошла через чувствительную нить. Если известна координата нити, то t_0 может быть вычислена в виде

$$t_0 = A s_0^2 + B s_0 + C, \quad /4/$$

где А и В являются коэффициентами одного из двух промежутков. Если $s_0 = 0$, то имеет место $t_0 = C_1 = C_2$.

Таблица 1

	"Левый" промежуток	"Правый" промежуток
А	2,65±0,34	2,31±0,28
В	-181,3±0,7	181,6±0,6
С	15,6±0,3	13,9±0,2
χ^2_{PF}	1,6	2,5

Таблица 2

Номер модуля	А	В
I	2,45	179,0
II	2,24	182,0
III	2,56	179,0
IV	2,04	180,4

Коэффициенты А и В были получены описанным выше способом для большего числа дрейфовых нитей. Сравнение результатов показало, что большинство проволочек в одном и том же дрейфовом модуле имеет идентичные характеристики. Приблизительно для 5% чувствительных нитей, в которых коэффициенты отличались более чем на два стандартных отклонения от средних, были использованы индивидуальные параметры. Для оставшихся нитей в связи с недостаточной статистической обеспеченностью треками использовались средние параметры функций. Средние коэффициенты А и В приведены в табл.2.

Величины t_0 и s_0 можно вычислить, если имеются треки с обеих сторон от чувствительной нити. Поскольку размер пучка был равен приблизительно 20×20 мм² /полная ширина на полувысоте/ и ось пучка совпадала с осями модулей, расчеты этих величин можно было выполнить для центральных нитей. Определение s_0 и t_0 для нецентральных проволок указанным способом практически невозможно.

В обработке экспериментальных данных координаты нитей взяты таким образом, чтобы они соответствовали выбранной системе координат установки.

Минимальное время t_0 для нецентральных нитей определялось из данных по расчету коэффициентов упаковки ВЦП.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ t_0

Как отмечалось в разделе 3, коэффициент упаковки время-цифрового преобразователя /ВЦП/ определялся в специальном режиме по зависимости средних отсчетов от фиксированных временных задержек. Аппроксимирующая функция имела вид

$$N = N_0 + K \cdot t, \quad /5/$$

где K - коэффициент упаковки, N_0 - свободный параметр. Положив $N = 0$, можно определить задержку t_d данного канала $t_d = -N_0/K$. Время t_d не является искомым минимальным временем t_0 . Так как запуск ВЦП в эксперименте и в специальном режиме был общим для всех каналов и поскольку тракт регистрации сигнала в обоих случаях составлен из одних и тех же элементов /усилитель, кабель, формирователь/, t_0 и t_d должны быть равными с точностью до определенной константы, или их разность должна равняться константе. В связи с тем, что кабель для различных модулей имел разные длины, эта константа характерна для отдельного модуля.

Таблица 3

Номер модуля	Номер канала	t_0	t_d	t_z	\bar{t}_z	$t_z - \bar{t}_z$
I	2	17,4	-37,7	55,1	55,1	0
	7	17,0	-38,1	55,1		0
	12	17,0	-38,3	55,3		0,2
	17	19,5	-35,5	55,0		-0,1
II	22	14,4	-21,6	36,0	35,6	0,4
	27	14,9	-21,1	36,0		0,4
	32	14,5	-20,2	34,7		-0,9
	37	15,7	-20,1	35,8		0,2
III	42	15,4	-21,4	36,8	36,9	-0,1
	49	17,2	-20,6	37,8		0,9
	56	15,9	-20,7	36,6		-0,3
	63	14,6	-21,8	36,4		-0,5
IV	78	11,2	-22,2	33,4	33,9	-0,5
	91	11,1	-23,0	34,1		0,2
	104	11,4	-23,1	34,5		0,6
	117	14,6	-19,2	33,8		-0,1

Рассмотрим разности $t_0 - t_d$ для тех нитей, в которых определено время t_0 . Напомним, что t_0 можно определить только для центральных проволочек, т.е. для четырех в модуле. В табл.3 приведены t_0 , t_d , их разности $t_z = t_0 - t_d$ и средние по модулю разности \bar{t}_z . Разности t_z во второй, третьей и четвертой плоскостях в каждом модуле скорректированы на время пролета частицы. Данные табл.3 свидетельствуют о том, что разность $t_0 - t_d$ для данного модуля постоянна. Точность определения этой величины может быть оценена по распределению $t_z - \bar{t}_z$ /последний столбец табл.3/. Как оказалось, эта величина описывается гауссовской зависимостью со среднеквадратичным разбросом меньше чем 0,5 нс, что является для нашего случая вполне приемлемой цифрой. Величина t_0 для нецентральных нитей вычислялась как $t_0 = t_z + t_d$, где \bar{t}_z - константа данного модуля из табл.3, определенная по данным калибровки ВЦП.

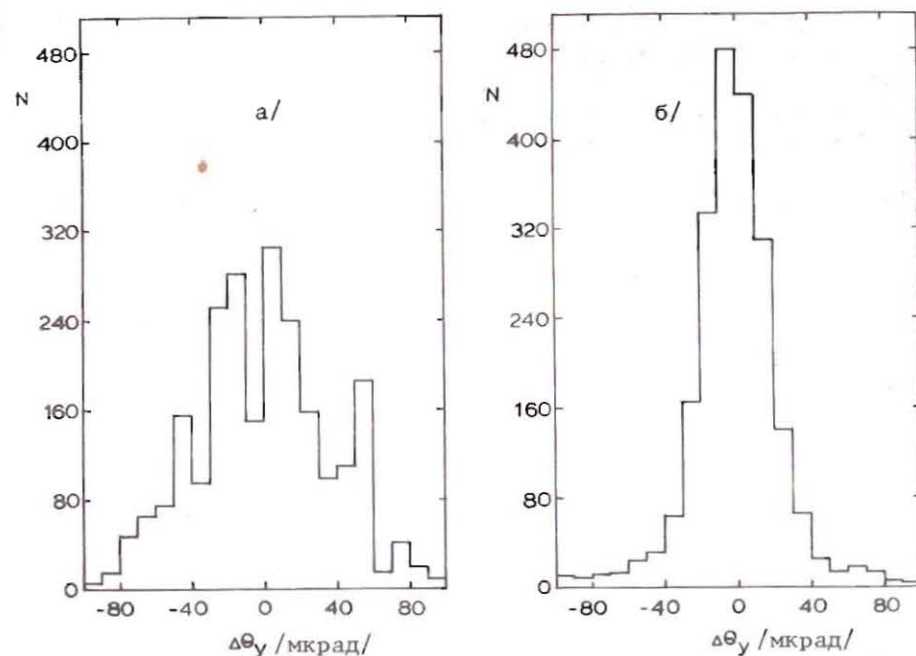


Рис.5. Распределение разностей вертикальных проекций углов, вычисленных до мишени и за ней. Треки восстановлены пропорциональными а/ и дрейфовыми б/ камерами.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, время-координатная зависимость в дрейфовой камере^{2/} имеет нелинейный характер. Нелинейность составляет 1-2%. Квадратичный полином хорошо описывает экспериментальные данные.

Вычисленные коэффициенты функции оказались одинаковыми для сигнальных нитей в одном и том же модуле дрейфовых камер. При переходе на другие модули коэффициенты отличались не более, чем на три стандартных отклонения.

Минимальное время t_0 определялось по значению аппроксимирующей функции вблизи координаты проволочки, если сигнальная нить имела достаточную статистику в "левом" и "правом" дрейфовых промежутках. Величина t_0 для нецентральных проволочек определялась по данным калибровки ВЦП и знанию t_0 для центральных проволочек модуля.

Знание характеристик время-координатной зависимости дрейфовых камер позволило в эксперименте^{1/} улучшить точность вычисления координат заряженных частиц. Средняя точность дрейфовой камеры

в I, II, III и IV модулях была равна 70, 70, 90 и 100 мкм соответственно. Ухудшение точности в III и IV модулях вызвано двумя причинами. Первая заключается в том, что сигнальной нитью можно зарегистрировать два трека в одном запуске, причем разрешение по второму треку несколько хуже, чем по первому. Вторая - в связи с небольшими возможными различиями в характеристиках дрейфовых проволочек, среднее число которых в одной плоскости равно 2,5; 2,5; 3,5 и 6,5 соответственно по модулям.

На рис.5 приведена иллюстрация углового разрешения установки. По горизонтали отложены разности вертикальных проекций углов, вычисленных до пустой мишени и за ней, по вертикали - число событий. Треки восстановлены пропорциональными /а/ и дрейфовыми /б/ камерами. Стандартные отклонения распределений равны 42 и 17 мкрад соответственно.

Авторы благодарны коллегам по эксперименту - Д.Сторку, Дж.Хауптману и Б.Уотсону за полезные обсуждения при использовании результатов данной работы, а также персоналу ЭВМ CDC 6500 в ОИЯИ за оказанную помощь в выполнении счета большого количества экспериментального материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dally E.V. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, vol.45, p.232.
2. Filatova N.A. et al. FERMILAB-PUB-76/97-Exp.;Nucl.Instr. and Meth., 1977, 143, p.17-28.
3. Poirier J.A. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1978, 153, p.105.

Водопьянов А.С. и др.

P1-83-12

Определение время-координатной зависимости дрейфовых камер в эксперименте по π -е и К-е -рассеянию при $p=250$ ГэВ/с

Описано определение время-координатной зависимости для дрейфовых камер в эксперименте по π -е и К-е рассеянию при $P=250$ ГэВ/с. Время дрейфа электронов ионизации измерялось время-цифровым преобразователем, координата - с помощью пропорциональных камер. Функция в виде квадратичного полинома хорошо описывает экспериментальные точки. Коэффициенты полиномов оказались одинаковыми для сигнальных нитей, находящихся в одном модуле дрейфовых камер. Знание характеристик время-координатной зависимости позволило в эксперименте улучшить точность вычисления координат и углов заряженных частиц.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Vodopyanov A.S. et al.

P1-83-12

Determination of Time-Coordinate Dependence for Drift Chambers in π -e and K-e Scattering Experiment at $p=250$ GeV/c

Determination of a time-coordinate dependence for drift chambers in π -e and K-e scattering experiment at $p=250$ GeV/c is described. Drift time was measured by a time-digital converter, a coordinate - using the proportional chambers. A quadratic polynomial function is agreeable to the experimental data. The coefficients of the function are found to be the same for the sense wires located in one drift chamber module. A knowledge of the time-coordinate dependence makes possible to improve in experiment an accuracy of calculating coordinates and angles of charged particles.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.