

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

K 903

9-87-838

**А.В.Куликов<sup>1</sup>, А.В.Купцов, В.В.Язьков<sup>2</sup>**

**УЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
В КАНАЛЕ ВЫВОДА ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ**

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

<sup>2</sup> Московский государственный университет

Типичным для многих экспериментов является наличие в каналах вывода частиц достаточно длинных участков, в которых предполагается отсутствие магнитных полей. Однако в действительности на таких участках могут иметься слабые остаточные поля, которые искривляют траектории частиц. В ряде случаев этим искажением траекторий нельзя пренебречь, в частности, при проведении экспериментов на установке "Позитроний" на ускорителе ИФВЭ. Непосредственное измерение остаточных полей в протяженном канале весьма сложно и трудоемко, поэтому мы использовали иной метод, описанный в настоящей работе.

Тракт вывода частиц на установку "Позитроний", схематично изображенный на рис. 1, представляет собой высоковакуумный прямолинейный канал <sup>1/1</sup> длиной 40 м, присоединенный к камере ускорителя без перегородок. Диаметр пучка на выходе из канала — 28 см. Вторичные частицы рождаются при взаимодействии внутреннего протонного пучка с пленочной мишенью Т. В средней части канала на протяжении 23 м имеются очищающие магниты ОМ, которые используются для удаления заряженных частиц из канала в эксперименте по исследованию образования релятивистских позитрониев <sup>2/2</sup> и при проведении калибровок на пучке гамма-квантов. В конце канала располагается экспериментальная установка <sup>2/2</sup>, состоящая из анализирующего магнита М, дрейфовых камер DC, сцинтилляционных S и черенковских С счетчиков.

Начальный участок канала, проходящий вблизи магнитов ускорителя 35 и 36, экранирован. Однако возможно наличие слабых полей на пути частиц. Причинами этого могут быть:

- 1) неполная магнитная экранировка начальной части канала;
- 2) остаточные поля выключенных очищающих магнитов;
- 3) магнитное поле Земли.

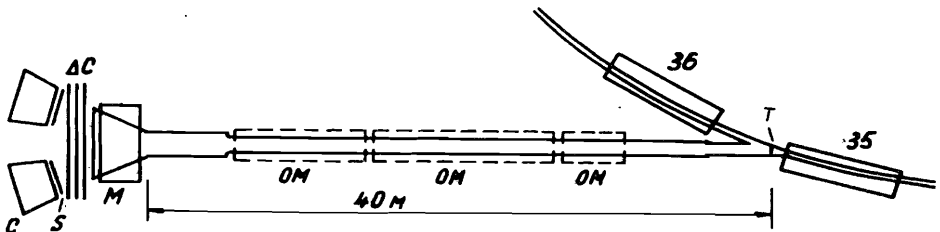


Рис. 1. Схема канала вывода частиц.

В экспериментах по изучению образования  $\pi^+\pi^-$ -атомов<sup>/3/</sup> или пар Далица с малыми эффективными массами необходимо определять угол разлета пары частиц. Для этого достаточно измерять координаты частиц на входе в магнит М с помощью дрейфовых камер. Точность измерения координат на входе в магнит определяется, в основном, многократным рассеянием в выходной мембране вакуумного тракта и составляет  $\sigma \approx 5,5$  мм для частиц с импульсом 1 ГэВ/с, что соответствует точности измерения угла разлета  $\sim 0,2$  мрад. Однако если на всей длине канала существует перпендикулярное его оси магнитное поле напряженностью, например, 0,5 Э, то заряженная частица того же импульса испытывает отклонение на 12 мм. Это приводит к ошибке в определении угла разлета около 0,6 мрад. Отсюда ясна необходимость учета магнитных полей на пути частиц.

Пусть из мишени в канал вылетают две разноименно заряженные частицы, ось z совпадает с осью канала, x и y — горизонтальная и вертикальная оси координат. Обозначим через  $\Delta x$  и  $\Delta y$  разность координат частиц на выходе из канала в отсутствие магнитных полей:

$$\begin{aligned} x &= x_1 - x_2, \\ y &= y_1 - y_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x_1, y_1, x_2, y_2$  — координаты положительной и отрицательной частиц. Математическое ожидание величин  $\Delta x$  и  $\Delta y$  равно нулю из-за равной вероятности разностей обоих знаков.

Наличие магнитного поля в канале приводит к смещению частиц пары в противоположные стороны. Из-за малости углов отклонения смещение каждой частицы обратно пропорционально ее импульсу. Предполагаем, что обе частицы проходят через одинаковые поля, то есть что в разных точках сечения канала поле одинаково. Тогда разность координат частиц на выходе из канала под действием поля получит приращения

$$\begin{aligned} \delta x &= A_y \left( \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} \right), \\ \delta y &= A_x \left( \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где коэффициенты  $A_x$  и  $A_y$  зависят от величины и распределения вдоль канала X- и Y-составляющих вектора магнитной индукции. Математическое ожидание  $\delta x$  и  $\delta y$  не равно нулю, и этим можно воспользоваться для учета влияния магнитного поля.

Трековые детекторы позволяют определить координаты частиц на выходе из канала, когда частицы уже отклонены магнитным полем. При этом измеренная разность координат составит

$$\begin{aligned} D_x &= \Delta x + \delta x = \Delta x + A_y \left( \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} \right), \\ D_y &= \Delta y + \delta y = \Delta y + A_x \left( \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Введем величины  $K_x = \frac{D_x}{1/p_1 + 1/p_2}$  и  $K_y = \frac{D_y}{1/p_1 + 1/p_2}$ . Так как

$p_1, p_2, D_x$  и  $D_y$  измеряются в эксперименте, для каждой пары частиц можно вычислить  $K_x$  и  $K_y$ , а на достаточно большом числе событий определить их средние значения.

С другой стороны, используя (3), получим

$$\begin{aligned} K_x &= \frac{\Delta x}{1/p_1 + 1/p_2} + A_y, \\ K_y &= \frac{\Delta y}{1/p_1 + 1/p_2} + A_x. \end{aligned} \quad (4)$$

Рассмотрим математическое ожидание M величины  $K_x$ :

$$M(K_x) = M\left(\frac{\Delta x}{1/p_1 + 1/p_2} + A_y\right).$$

В пределах апертуры канала  $\Delta x$  не зависит от импульсов, поэтому

$$M\left(\frac{\Delta x}{1/p_1 + 1/p_2}\right) = \frac{M(\Delta x)}{M(1/p_1 + 1/p_2)}.$$

Учитывая, что  $M(\Delta x) = 0$ , получим

$$M(K_x) = M\left(\frac{\Delta x}{1/p_1 + 1/p_2} + A_y\right) = A_y.$$

Аналогично,  $M(K_y) = A_x$ .

Таким образом, значения коэффициентов  $A_x$  и  $A_y$ , определяющих влияние магнитного поля в канале, равны средним значениям  $K_y$  и  $K_x$ . Найдя их, можно вычислить значения координат  $x_1, x_2, y_1, y_2$ , которые частицы имели бы на выходе из канала в отсутствие магнитного поля:

$$\begin{aligned} x_1 &= x'_1 - A_y/p_1, & y_1 &= y'_1 - A_x/p_1, \\ x_2 &= x'_2 + A_y/p_2, & y_2 &= y'_2 + A_x/p_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $x'_1, x'_2, y'_1, y'_2$  — измеренные координаты.

Из поправленных значений координат вычисляется угол разлета частиц, не искаженный воздействием магнитного поля в канале

$$\theta = \frac{[(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^{1/2}}{z_0}, \quad (6)$$

где  $z_0$  — длина канала.

Для оценки влияния остаточных полей в канале установки "Позитроний" была использована информация, полученная при регистрации  $e^+e^-$ -пар Далитца. Пары Далитца возникали при распаде  $\pi^0$ -мезонов, рожденных на пленочной внутренней мишени ускорителя. Установка позволяла регистрировать электроны и позитроны в интервале импульсов от 0,8 до 1,8 ГэВ/с. Обработка информации приведенным выше методом показала наличие значительных остаточных магнитных полей — частица с импульсом 1 ГэВ/с на выходе из канала отклонялась на 42 мм по горизонтали и 10 мм по вертикали. На основании этих результатов были приняты меры для ослабления полей: усилена магнитная защита начальной части канала, заменены все элементы крепежа на немагнитные, введена обязательная процедура размагничивания очищающих магнитов. Обработка информации, полученной после этих изменений, показала существенное ослабление остаточных полей: смещение частиц на выходе из канала уменьшилось в 6 раз.

Данные анализировались следующим образом. Сначала проверялось отсутствие систематических смещений величины  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , которые могли бы возникать из-за неточной юстировки дрейфовых камер относительно канала или из-за дефектов программы геометрической реконструкции. С этой целью была обработана информация, полученная при введении в канал непосредственно перед анализирующим магнитом М плексигласового конвертора толщиной 1 мм. При этом регистрировались  $e^+e^-$ -пары, рожденные при взаимодействии  $\gamma$ -квантов с веществом конвертора. Для таких событий  $\Delta x$  и  $\Delta y$  заведомо должны равняться нулю. В действительности были обнаружены небольшие (~6 мм) отклонения средних значений  $\Delta x$  и  $\Delta y$  от нуля, и в программе геометрической реконструкции введена (и сохранена при обработке пар Далитца) коррекция для компенсации этих смещений. Полученные после этого распределения по  $\Delta x$  и  $\Delta y$  на конверторе приведены на рис. 2.

Затем были обработаны два массива информации с парами Далитца: 18,1 тыс. событий при полной апертуре канала (диаметр пучка на выходе из канала  $D = 280$  мм) и 3,4 тыс. событий при дополнительно введенной на расстоянии 10 м от мишени свинцовой диафрагме (ограничивающей размер пучка до  $D = 160$  мм). Для каждого события вычислялись значения  $K_x$  и  $K_y$ . Распределения этих величин для случая  $D = 280$  мм показаны на рис. 3. Введенные в (2) коэффициенты  $A_x$  и  $A_y$ , равные средним значениям  $K_y$  и  $K_x$ , определены независимо по двум наборам и приведены в табл.1. Заметим, что значения  $A_x$  и  $A_y$  численно

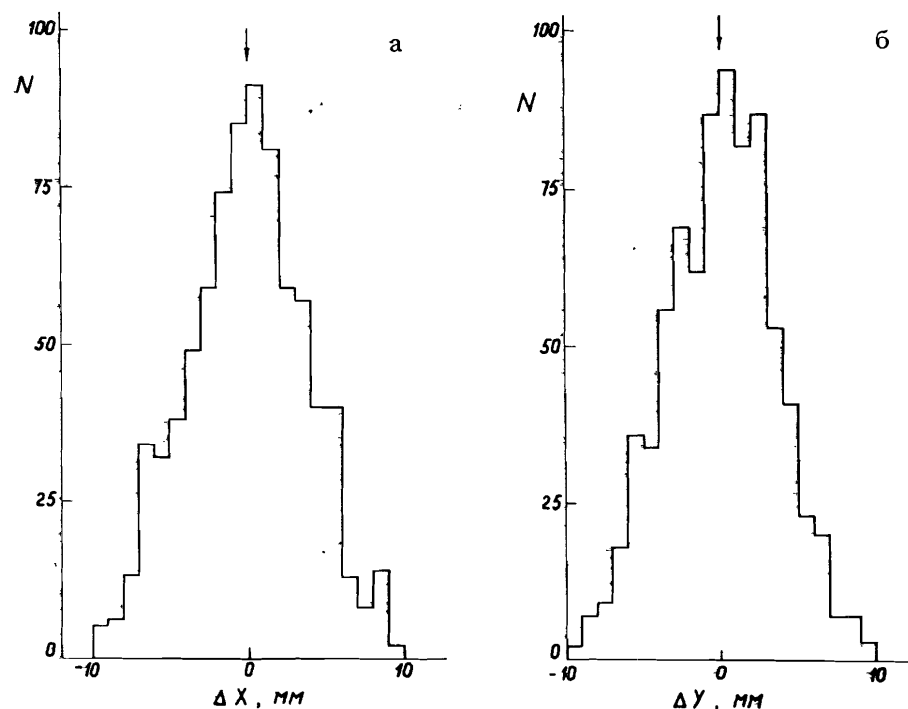


Рис. 2. Распределения по  $\Delta x$  и  $\Delta y$  на конверторе.

равны смещениям по  $y$  и  $x$  частицы с импульсом 1 ГэВ/с. Близость ошибок в двух измерениях при большом отличии числа событий связана с различной шириной распределений по  $K_x$  и  $K_y$ , из которых оцениваются  $A_y$  и  $A_x$ .

Значения коэффициентов  $A_x$  и  $A_y$ , усредненные по двум наборам,

$$A_x = 1,64 \text{ мм} \cdot \text{ГэВ/с}, \quad (7)$$

$$A_y = -6,81 \text{ мм} \cdot \text{ГэВ/с},$$

будут использоваться для коррекции координат (5) при вычислении угла разлета частиц (6).

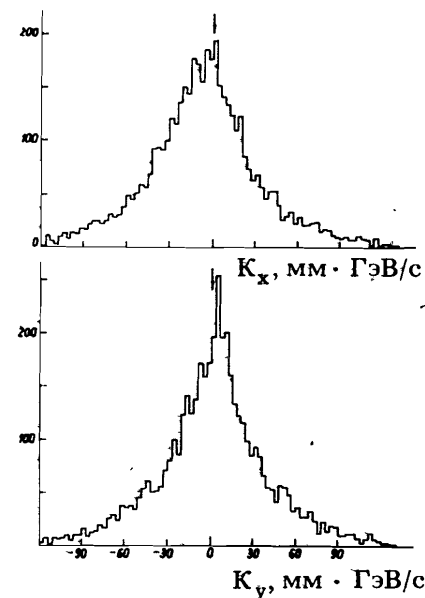


Рис. 3. Распределение пар Далитца по  $K_x$  и  $K_y$ .

Таблица 1

Диаметр пучка, мм	$A_x$ , мм · ГэВ/с	$A_y$ , мм · ГэВ/с	Кол-во событий	Диапазон импульсов, ГэВ/с
280	$1,61 \pm 0,30$	$-7,24 \pm 0,30$	18084	0,92-1,60
160	$1,67 \pm 0,35$	$-6,37 \pm 0,35$	3421	0,86-1,74

Величина обнаруженных смещений соответствует существованию по всей длине канала эквивалентного однородного магнитного поля напряженностью 0,3 Э.

Для контроля устойчивости результатов весь импульсный диапазон был разбит на интервалы, и в каждом из них определены  $A_x$  и  $A_y$ . Из табл. 2 видно, что полученные в разных импульсных интервалах значения согласуются с приведенными в табл. 1.

При разбиении на интервалы обрабатывались только те события, в которых обе частицы принадлежат одному и тому же диапазону импульсов, поэтому при объединении интервалов из табл. 2 значения  $A_x$  и  $A_y$  не точно совпадают с приведенными в табл. 1 и имеют большие погрешности.

Для проверки использованного в (2) предположения об одинаковом значении поля в разных точках сечения канала выходное сечение канала было разбито на участки, и обработка проведена отдельно

Таблица 2

Диапазон импульсов, ГэВ/с	Диаметр пучка, мм	$A_x$ , мм · ГэВ/с	$A_y$ , мм · ГэВ/с
0,92-1,09	280	$2,4 \pm 0,8$	$-7,0 \pm 0,8$
1,09-1,26		$4,2 \pm 1,1$	$-9,2 \pm 1,2$
1,26-1,43		$1,9 \pm 1,4$	$-6,5 \pm 1,4$
1,43-1,60		$0,5 \pm 1,9$	$-10,2 \pm 2,0$
0,92-1,26		$2,15 \pm 0,45$	$-7,37 \pm 0,45$
1,26-1,60		$1,60 \pm 0,80$	$-7,00 \pm 0,80$
0,86-1,08	160	$2,6 \pm 0,8$	$-6,6 \pm 0,95$
1,08-1,30		$0,7 \pm 1,1$	$-7,4 \pm 1,3$
1,30-1,52		$-1,4 \pm 1,4$	$-8,7 \pm 1,9$
1,52-1,74		$1,1 \pm 2,5$	$-0,5 \pm 2,7$
0,86-1,30		$2,5 \pm 0,5$	$-6,75 \pm 0,5$
1,30-1,74		$-0,8 \pm 1,0$	$-5,2 \pm 1,0$

для пар, попадающих в каждый из участков. Значения коэффициентов  $A_x$  и  $A_y$  для разных участков в пределах ошибок совпадают между собой и с приведенными в (7), что говорит о справедливости сделанного предположения.

Чтобы коррекция была правильной, анализируемый для определения  $A_x$  и  $A_y$  материал не должен содержать значительной примеси частиц, рожденных на стенках канала. Такие частицы меньше подвержены воздействию магнитного поля: на них не влияют поля на участке от мишени до точки рождения.

Необходимые для коррекции данные можно получить и при регистрации любых других пар частиц разного знака, например  $\pi^+\pi^-$ . Интересно, что полезными для этой цели событиями могут быть даже случайные совпадения двух частиц в пределах разрешающего времени. Важно лишь чтобы обе частицы исходили из мишени и факт "случайности" не сказывался на правильном восстановлении треков. При выработке триггера случайными совпадениями время дрейфа, а следовательно, координата для одной из частиц (пришедшей раньше), измеряется с ошибкой. Однако в нашем случае при разрешающем времени 10 нс возникающая ошибка в координате ( $< 0,5$  мм) слабо сказывается на восстановлении координат точки входа в магнит, поскольку, как отмечалось, основную погрешность при этой процедуре вносит многократное рассеяние. Кроме того, некоторое ухудшение координатной точности можно компенсировать увеличением количества анализируемых событий. Таким образом, данные для коррекции на остаточные магнитные поля можно извлекать непосредственно из первичного статистического материала, полученного при регистрации  $\pi^+\pi^-$ -пар.

Авторы благодарны В.И.Комарову и Л.Л.Неменову за полезные обсуждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Губриенко К.И. и др. – ПТЭ, 1987, №1, с.26.
2. Алексеев Г.Д. и др. – ЯФ, 1984, 40, с.139.
3. Неменов Л.Л. – ЯФ, 1985, 41, с.980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 ноября 1987 года.