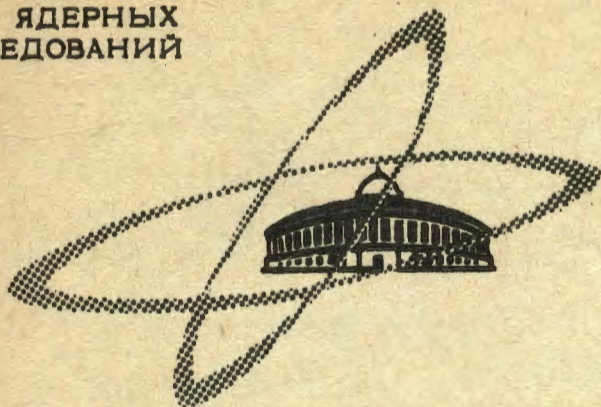


Б-974

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



1 - 4080

Я.Бэм, В.Г.Гришин, М.М.Муминов

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ СМЕЩЕНИЙ ОСЕЙ ТРЕКОВ
В ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

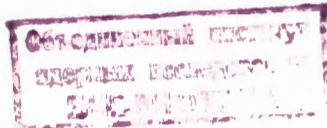
1968

1 - 4080

Я.Вэм, В.Г.Гришин, М.М.Муминов

ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ СМЕЩЕНИЙ ОСЕЙ ТРЕКОВ
В ПРОПАНОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

7507/3 up



Исследование процесса прямого образования (e^+e^-) -пар электронами в пропановой пузырьковой камере существенно связано с выделением фоновых событий (e^+e^-) , возникших в результате конверсий тормозных γ -квантов в (e^+e^-) -пары /1/, оси которых смещены относительно первичного электрона. Для этой цели была разработана методика измерения малых смещений осей (e^+e^-) -пар относительно осей первичных электронов. Измерения проводились на микроскопе МБИ-9 с окулярным микрометром (15 x 6,3). Одно деление соответствует 1,82 микрона на кадре. Увеличение оптической системы 24-литровой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ равно $z = 10 \pm 0,4$. Камера была помещена в магнитное поле с $H = 14,3$ кгаусс и облучена пучком π^- , μ^- -мезонов и электронов с $pc = 4$ Гэв.

Разработанная методика определения малых смещений осей треков может быть использована и в других экспериментах.

§1. Измерения на одиночных следах

В окуляре микроскопа пузырьки видны как черные или серые зерна с нечетко ограниченными краями. Было определено, что физики, проводящие измерения, находят край пузырька со среднеквадратичной ошибкой $\sigma = (0,9 \pm 0,1)$ дел.

На треках первичных электронов ($\overline{pc} \approx 3$ Гэв) определялось смещение осей двух соседних участков следа. Пары координат X_1 , X_3 и X_2 , X_4 измерялись по краям разного числа пузырьков (см. 1 и 2 столбцы табл. 1 и рис.1). Нить окулярного микрометра направлялась по касательной к первичному треку в точке, лежащей между измеряемыми участками следа. Смещение осей равно:

$$\xi = \frac{X_1 + X_3}{2} - \frac{X_2 + X_4}{2}. \quad (1)$$

Кроме того, определялось и смещение краев двух соседних участков следа:

$$\xi^* = X_1 - X_2 \quad \text{или} \quad \xi^* = X_3 - X_4. \quad (2)$$

Результаты измерений показаны в табл. 1. На их основании можно сделать следующие выводы:

1. Средние значения величин ξ , $(X_1 - X_2)$, $(X_3 - X_4)$ в рамках ошибок равны нулю, что и подтверждает отсутствие систематических ошибок в процессе измерения.

2. Дисперсии величин ξ , $(X_1 - X_2)$, $(X_3 - X_4)$ незначительно уменьшаются с ростом числа пузырьков, по краям которых определялись координаты (см. столбцы 4, 6, 8 табл. 1). Ошибка в определении оси первичного следа $\sigma_{(X_2+X_4)/2}$ составляет 1,3 дел., что соответствует 25 микронам в камере (см. 9-й столбец табл. 1) ^{/2/}. Ширина первичных треков в наших условиях составляет $\bar{e} \approx 35$ дел. Высокая точность в определении оси треков связана с малым разбросом центров пузырьков вокруг истинной траектории частицы (≈ 4 микрона в камере) ^{/3/}.

Ограничения точности определения осей треков связаны в основном с многократным рассеянием. Например, для $pc = 1$ Гэв и длины участка следа в камере 1 см (10 пузырьков) смещение, вызванное многократным рассеянием, составляет 1 дел. В нашем случае, когда длина измеряемого участка следа составляла $\approx 0,5$ см в камере и $pc \approx 3$ Гэв, смещение было несущественным ($\leq 0,1$ дел.).

3. Ошибки в определении разности верхних ($X_3 - X_4$) и нижних ($X_1 - X_2$) краев соседних участков треков на 0,6 дел. больше, чем ошибки в определении их осей (ξ).

Также были измерены координаты X'_1 , X'_2 , X'_3 , X'_4 (см. рис.1) по 3-4 пузырькам, и соответствующие величины оказались равны $\xi' = (-0,2 \pm 0,2)$ дел. и $\sigma_{\xi'} = 2$ дел. (расстояние между серединами участков треков составляет ≈ 600 дел.).

Таким образом, на расстояниях 1 см в камере дисторсии на пленке, многократное рассеяние электронов и неточности в определении касательной к треку незначительно влияют на точность измерения величины ξ ($\sigma_{\xi} = 1,7$ дел. и $\sigma_{\xi'} = 2$ дел.).

§2. Измерения на (e^+e^-) -парах

Измерения проводились на (e^+e^-) -парах, возникших в результате конверсий тормозных γ -квантов, излученных электронами. Отбирались пары, лежащие рядом с первичным треком, для которых энергии электрона и позитрона E_+ и $E_- \geq 15$ Мэв и $0,1 \leq \frac{E_+}{E_-} \leq 0,9$. Измерялись координаты X_1 , X_3 вершины (e^+e^-) -пары по 3-4 пузырькам и координаты электрона X_2 и позитрона X_4 по 2-3 пузырькам на расстоянии 200 дел. от вершины пары. Ось (e^+e^-) -пары направлялась по касательной к первичному треку в точке, лежащей между окном камеры и вершиной (e^+e^-) -пары (угол вылета тормозного γ -кванта сос-

тавляет $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ радиана). Смещение осей (e^+e^-)-пары (ξ) в вершине и на расстоянии 200 дел, определялось по уравнению (1) и было получено $\bar{\xi} = (-0,1 \pm 0,2)$ дел. и $\sigma_{\xi} = 2,0$ дел.

1. В связи с тем, что распределение измеряемых (e^+e^-)-пар по величине $v = \frac{E_{\gamma}}{E_{\gamma}}$ является симметричным относительно $v = 0,5$, значение $\bar{\xi} = (-0,1 \pm 0,2)$ дел. подтверждает отсутствие систематических смещений при измерениях на (e^+e^-)-парах.

2. Полученное значение $\sigma_{\xi} = 2,0$ дел. хорошо согласуется с $\sigma_{\xi} = 1,9$ дел., найденной из результатов измерений на одиночных следах (см. табл. 1).

Таким образом, неточность в определении направления оси (e^+e^-)-пары под микроскопом, различие в энергиях электрона и позитрона из (e^+e^-)-пары, многократное рассеяние электронов и т.д. несущественны при измерениях осей энергичных (e^+e^-)-пар на расстояниях до 200 дел.

Сравним ширину вершины трека (e^+e^-)-пары с шириной участка первичного следа, лежащего рядом с ней. Участки следов, на которых проводятся измерения, находятся в малом объеме камеры, и генерация пузырьков происходит при одинаковых условиях. Поэтому разность ширин соответствующих треков может быть обусловлена тем, что пузырьки в вершине (e^+e^-)-пары образуются двумя электронами в отличие от следа первичного электрона (угол между электроном и позитроном из (e^+e^-)-пары равен $\theta \approx 4 \text{ мс}^2 / E_{\gamma}$).

Измерялась ширина вершины энергичной ($E_{\gamma} \geq 50$ Мэв) (e^+e^-)-пары ($X_3 - X_1$)_П и ширина следа ($X_3 - X_1$)_Э под вершиной пары, в обоих случаях по 3-4 пузырькам. Было получено, что $\bar{\Delta} = \frac{(X_3 - X_1)_{\text{П}} - (X_3 - X_1)_{\text{Э}}}{2} = (0,2 \pm 0,4)$ дел. и $\sigma_{\Delta} = 4,6$ дел. Отсюда вытекает, что систематической разницы ширин (e^+e^-)-пары и первичного электрона нет.

Результаты измерений на одиночных следах и (e^+e^-) -парах были использованы при определении смещений осей (e^+e^-) -пар относительно осей первичных электронов для событий, в которых (e^+e^-) -пара образована или электроном, или тормозным γ -квантом на первичном треке (см. рис.2) ^{/1/}.

Координаты X_1 , X_3 первичного трека перед вершиной (e^+e^-) -пары измерялись по 5-6 пузырькам, координаты X_2 , X_4 вершины (e^+e^-) -пары по 1-6 пузырькам в зависимости от их энергии. Для случаев, когда $X_2 < X_3$ и $X_4 > X_1$, величина ξ_1 вычислялась следующим образом: $\xi_1 = X_4 - X_3$, если $X_2 \geq X_1$ и $X_4 \geq X_3$; $\xi_1 = X_2 - X_1$, если $X_4 \leq X_3$ и $X_2 \leq X_1$. В остальных случаях ξ_1 определялось с помощью уравнения (1) ^{/4/}.

Чтобы найти ошибку σ_ξ , определялась величина ξ_2 по измерениям на других участках следов (e^+e^-) -пары и первичного электрона, чем в случае ξ_1 . Измерения "вне вершины пары" (ξ_2) проводились другим физиком. Было получено, что $(\xi_1 - \xi_2) = (0,3 \pm 0,3)$ дел. и $\sigma_{\xi_1 - \xi_2} = 3,0$ дел. Отсюда в связи с независимостью ξ_1 и ξ_2 ошибка равна: $\sigma_\xi = \sigma_{\xi_1 - \xi_2} / \sqrt{2} = (2,1 \pm 0,2)$ дел. Оказалось, что в рамках приведенной неопределенности $\pm 0,2$ дел. ошибка σ_ξ не зависит от энергий (e^+e^-) -пар, а также от значений величины ξ . Если исходить из результатов измерений одиночных треков и (e^+e^-) -пар, то вычисленное значение ошибки σ_ξ равно: для $-6 \leq \xi \leq 6$ дел $-\sigma = (1,9 \pm 0,3)$ дел и для $6 \leq \xi \leq 30$ дел. $-\sigma_\xi = (2,3 \pm 0,2)$ дел., что находится в хорошем согласии с $\sigma_\xi = (2,1 \pm 0,2)$ дел.

Таким образом, проведенные измерения показали, что точность в определении смещений осей одиночных треков, (e^+e^-) -пар и пар, образованных электронами, почти одинакова и $\sigma_\xi \approx 2$ дел., т.е. составляет $\approx \frac{1}{15}$ от ширины трека.

§3. Выделение событий по величине $\Delta = \xi_{\text{л}} - \xi_{\text{п}}$

Введем величину $\Delta = \xi_{\text{л}} - \xi_{\text{п}}$, где $\xi_{\text{л}}$ и $\xi_{\text{п}}$ - соответствующие значения величины ξ на левом и правом стереокадрах. Для событий, у которых величина ξ не имеет составляющей компоненты в направлении оптических осей фотоаппаратов, т.е. по глубине (z), $\Delta = 0$. В противоположном случае $\Delta \neq 0$ и может быть описана приближенным выражением (без учета показателей преломления):

$$\Delta = \frac{B \xi_z}{z(H + Z)}, \quad (3)$$

где B - база фотоаппаратов, z - увеличение оптической системы, $H + Z$ - эффективная высота, на которой установлены фотоаппараты.

Для процессов типа тормозного излучения, сопровождаемого конверсий γ -квантов в (e^+e^-) -пары, величина ξ_z очень мала ($\xi_z = \frac{mc^2}{E} \ell$, где E и m - энергия и масса электрона, ℓ - длина конверсии). В связи с этим легко отделить события такого типа по Δ от случаев случайного наложения (e^+e^-) -пар на следы первичных частиц.

На рис.3 показано распределение событий типа тормозного излучения или прямого образования пар, а также случайных наложений, по величине Δ . Отсюда видно, что имеется две группы событий. События с $|\Delta| \leq 10$ дел. в основном связаны с тормозным излучением и прямым образованием (e^+e^-) -пар электронами. Действительно, для таких случаев $|\Delta| \leq 2,8$ дел (см. урав. (3)^{1/3}). События с $|\Delta| \geq 10$ дел. связаны со случайным наложением (e^+e^-) -пар. Примесь таких событий в группу с $|\Delta| \leq 10$ дел. составляет $\leq 3\%$.

Эта методика разделения (e^+e^-) -пар по величине Δ может быть использована и в других экспериментах. Например, в эксперимен-

тах, проводимых с помощью пузырьковых камер, наполненных тяжелой жидкостью, этот метод можно использовать для отделения тормозных (e^+e^-) -пар от событий, связанных со случайным их наложением.

Л и т е р а т у р а

1. Я. Бэм, В.Г. Гришин, М.М. Муминов, В.Н. Стрельцов. Препринт ОИЯИ, P1-4023, Дубна, 1968.
2. V.G. Kirillov-Ugryumov, L.P. Kotenko, E.P. Kuznetsov, A.V. Samoilov. Nuclear Instr., 3, 265 (1958).
3. R.W. Williams. Rev. Scient. Instr., 32, 1378 (1961).
4. Я. Бэм, В.Г. Гришин, М.М. Муминов, В.Д. Рябцев. Препринт ОИЯИ, P1-3143, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 сентября 1968 года.

Т а б л и ц а I

Число пучков		Число случаев						
X_1, X_3	X_2, X_4	ξ	σ_ξ	$(X_1 - X_3)$	$\sigma_{X_1 - X_3}$	$X_3 - X_4$	$\sigma_{X_3 - X_4}$	$\sigma_{(X_3 + X_4)/2}$
5-6	I	$0 \pm 0,2$	I,8	$-0,1 \pm 0,3$	2,8	$0 \pm 0,2$	2,5	I,5
5-6	2	$0 \pm 0,2$	I,9	$0,3 \pm 0,2$	2,5	$-0,2 \pm 0,2$	2,2	I,6
3-4	3-4	$-0,2 \pm 0,2$	I,7	$0,2 \pm 0,2$	2,3	$0 \pm 0,2$	2,3	I,2
5-6	5-6	$0,1 \pm 0,1$	I,4	$0,4 \pm 0,2$	I,9	$-0,5 \pm 0,2$	2,0	I,0
I	2		3	5	6	7	8	9
			4					I0

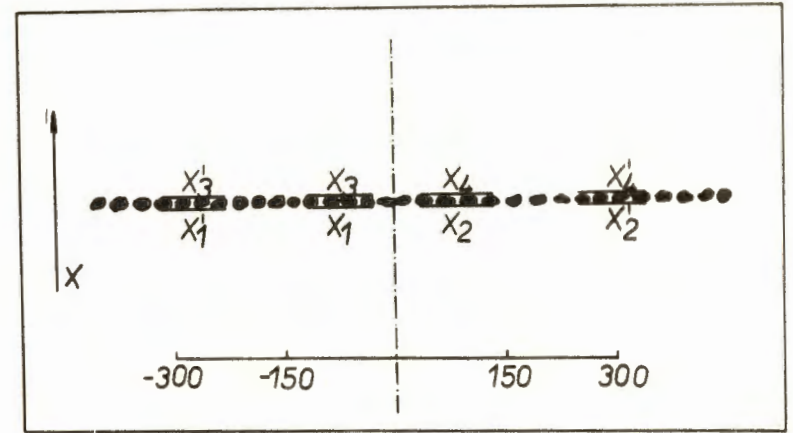


Рис.1. Схема измерения величины ξ на треках первичных электронов. Прямые линии показывают усреднение координат X по 3-4 пучкам. Поле окулярного микрометра имеет диаметр = 800 дел.

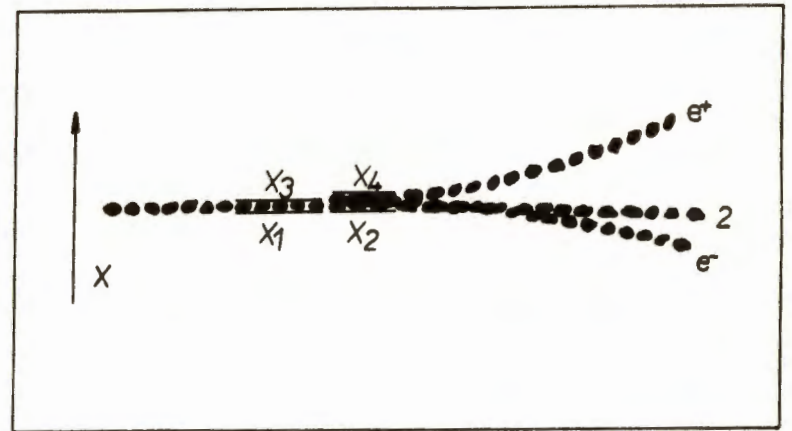


Рис.2. Схема измерения величины ξ для процессов образования (e^+e^-) -пар электронами и тормозными γ -квантами.

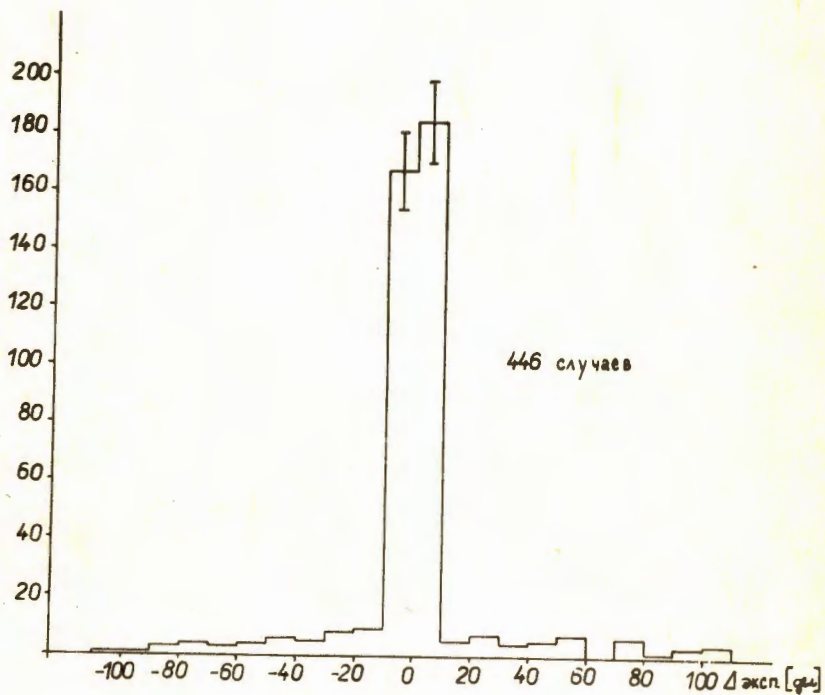


Рис.3. Гистограмма распределения событий от процессов образования (e^+e^-) -пар электронами и тормозными γ -квантами и случайных наложений (e^+e^-) -пар по величине $\Delta = \xi_L - \xi_P$.