

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

2076/2-80

12/4-80

P1 - 13037

К.Д.Толстов, А.А.Хушвактова, Г.С.Шабратова

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
РЕГИСТРАЦИИ РАСПАДОВ ЧАСТИЦ  
С ВРЕМЕНЕМ ЖИЗНИ  $\leq 10^{-13}$  с  
В ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

1980

Обнаружение  $J/\Psi$  частиц, наблюдение событий, которые интерпретировались как распады новых частиц с временем жизни  $10^{-14} \div 10^{-12}$  с  $^{1-10/}$ , привело к разворачиванию широкого фронта работ по поиску этих частиц, определению их времени жизни, исследованию мод распада.

Высокое пространственное разрешение ядерных фотоэмульсий представляет уникальные возможности наблюдения этих процессов. Еще в работе<sup>11/</sup> отмечалась перспективность использования фотометода для поисковых работ.

Наблюдение событий в результате распада частиц с временем жизни  $10^{-13} \div 10^{-14}$  с требует большой точности в регистрации расстояний между точкой рождения частицы и точкой распада, исчисляемых от нескольких до сотен мкм.

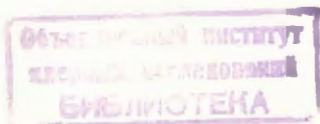
Звезды, наблюдаемые при распаде частиц, являются, как правило, малолучевыми событиями. А наличие  $\gamma$ -фактора у распадающейся частицы приводит к тому, что продукты распада вылетают, в основном, в переднюю полусферу в л.с. координат. Целью данной работы является исследование влияния угла внутреннего конуса, в который вылетают продукты распада частицы, на точность определения расстояния между вершинами первичной и вторичной звезд.

Кроме того, изучается вопрос о том, насколько знание ионизационных потерь, измеряемых на исследуемой длине, дает дополнительные доказательства в пользу существования второго центра.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ ПЕРВИЧНОЙ И ВТОРИЧНОЙ ЗВЕЗД

Определение расстояния между вершинами звезд сводится к нахождению их координат. Наиболее точно координаты вершин определяются по пересечению нескольких треков частиц каждой звезды.

Для определения влияния на точность нахождения координат вершины величины угла разлета частиц были выбраны три пары частиц, разлетающихся под углами  $1^\circ$ ,  $5^\circ$  и  $11^\circ$ . На каждом из следов пары измерялись либо координаты  $x_i, z_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), либо координаты  $x_i, y_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), где  $n$  - число измерений каждой координаты. Выбор системы координат обуславливался на-



правлением первичной частицы. Ось  $x$  была параллельна этому направлению. Плоскость  $xy$  выбиралась параллельной плоскости стола измерительного микроскопа.

Выбор для измерений той или иной пары координат был связан с характером следов вторичной звезды. Если треки продуктов предполагаемого распада лежат в плоскости  $xy$ , то измеряется пара координат  $x_i, y_i$ . Если же вторичные частицы лежат в плоскости, не параллельной  $xy$ , а изменение координат по оси  $z$  практически не наблюдается на расстояниях примерно 1000 мкм, то большую пользу приносят измерения пары координат  $x_i, z_i$ .

По измеренным значениям координат с помощью программы "FUMILI"<sup>12</sup> подбирались коэффициенты в уравнении прямой, например, для координат  $x_i, y_i$

$$y_i = a + b x_i.$$

Ошибки в отсчете координаты  $y_i$  определялись точностью отсчета измерительного микроскопа KSM-I фирмы К.Цейс /Иена/ и были равными 0,02 мкм.

Координаты пересечения двух следов определялись из решения системы уравнений

$$y = a_1 + b_1 x$$

$$y = a_2 + b_2 x,$$

откуда

$$X = (a_2 - a_1) / (b_1 - b_2) \quad /1/$$

$$Y = a_1 + b_1 X. \quad /2/$$

Таким же образом определялись координаты пересечения двух следов  $X$  и  $Z$ . При этом ошибка в определении  $z_i$  полагалась равной 0,42 мкм, которая была связана с точностью установки объектива на зерна исследуемого и контрольного следов /0,3 $\sqrt{2}$ / мкм.

Из приведенных выше соотношений видно, что ошибка в определении  $X$ , а следовательно, и  $Y, Z$ , в значительной степени определяется величиной разности между показателями наклона прямых  $b_1$  и  $b_2$ . Так, для углов разлета пересекающихся частиц, равных  $1^\circ, 5^\circ$  и  $11^\circ$ , ошибки в определении  $X$  равны, соответственно, /0,8  $\pm$  1,5/ мкм, /0,11  $\pm$  0,15/ мкм, /0,06-0,08/ мкм. "Шумы" измерительных микроскопов и, в частности, тепловые "шумы" приводят к увеличению этих ошибок. Для учета влияния всех этих "шумов" было проведено усреднение повторных измерений одной и той же пары следов, проведенными тремя измерителями в разное время. Затем определены значения среднеквадратичного отклонения  $D_x$  для углов  $1^\circ; 5^\circ$  и  $11^\circ$ , которые оказались равными, соответственно, 9; 1,5 и 0,8 мкм. При 20 повторных измерениях ошибка в определении  $X$  была  $\sim 2$  мкм для  $\theta=1^\circ$  и 0,2 мкм для  $\theta=11^\circ$ .

Величина ошибки в определении  $Y$  практически не зависит от значения  $\theta$  в интервале углов от  $1^\circ$  до  $11^\circ$ . Среднеквадратичное отклонение  $D_y$  равно в этом случае 0,2 мкм.

Определение  $X$  по измерениям пары координат  $x_i, z_i$  приводит к ухудшению точности в  $X$ . Среднеквадратичное отклонение  $D_x$  увеличивается в несколько раз. Так, для углов разлета до  $1^\circ$   $D_x \sim 30 \pm 50$  мкм, а для  $\theta \sim 5^\circ - D_x \sim 10 \pm 20$  мкм.

Для координаты пересечения  $Z_1$  наблюдается ситуация, аналогичная ситуации при определении  $Y$ . Среднеквадратичное отклонение  $D_z$  в интервале углов от 0 до  $5^\circ$  остается практически неизменным и равным /0,5  $\pm$  1,5/ мкм.

Таким образом, для лучшего варианта /измерение пар координат  $x_i, y_i$  / определение расстояний между вершинами первичной и вторичной звезд при углах разлета частиц до  $2^\circ$  возможно с точностью в /1-2/ мкм при числе повторных измерений, равных 10-20. При меньшем числе измерений надежно определяются расстояния длин, больших 10 мкм.

#### ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ ДВУХ ЦЕНТРОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ

Заклучение о наличии двух центров может быть сделано на основе особенностей ионизационных потерь /плотности зерен/ на участке, разделяющем два центра.

При распаде нейтральной частицы в этом промежутке не должно быть ни одного зерна. Распад заряженной частицы приведет к плотности зерен, соответствующей плотности зерен ливневого следа, т.е. около 25 зерен на 100 мкм. Количественная оценка вероятности данного числа зерен может быть сделана на основе пуассоновского распределения. Так, если средняя плотность зерен на 100 мкм следа релятивистской частицы есть  $n_0$ , то на участке длиной  $l$  мкм вероятность проявления  $\nu$  зерен равна:

$$W(\nu) = \frac{\left(\frac{l}{100} \cdot n_0\right)^\nu e^{-\frac{l}{100} n_0}}{\nu!} \quad /3/$$

В табл.1 приведены значения  $W(\nu)$ , посчитанные для  $l=10, 20$  и 30 мкм.

Вследствие флуктуации ионизационных потерь на следах частиц первичной звезды возможна ситуация, когда вылет двух, трех и т.д. частиц из этой звезды с углом раствора конуса около  $1^\circ$  имитирует распад нейтральной или заряженной частицы. В этом случае отклонение частиц по оси  $z$  на длине  $l$  не превышает

$$\Delta z = l \cdot \frac{1}{57.3}, \text{ и при } l \leq 30 \text{ мкм } \Delta z \leq 0,5 \text{ мкм, т.е. меньше диаметра}$$

Таблица 1

$\ell$ , мкм	$\nu$				
	0	1	2	3	4
10	0,082	0,205	0,513	0,213	0,013
20	0,0067	0,0337	0,0843	0,140	0,175
30	0,0005	0,0041	0,0156	0,039	0,073

проявленного зерна. Следовательно, ионизационные потери на этой длине должны быть в два, три и т.д. раз больше ионизационных потерь на релятивистском следе.

Оценим вероятность вылета двух частиц, имитировавшего распад нейтральной на две заряженные.

Для этого по формуле /3/ найдем вероятность того, что на длине  $\ell$  следа с  $n_0$ , равным двухкратной ионизации, не будет ни одного зерна. Поскольку на опыте измерение ионизационных потерь однократно заряженной релятивистской частицы, как правило, сводится к счету числа блобов /сгустков зерен/ на определенной длине, найдем вероятность такую, когда на длине  $\ell$  не будет ни одного блоба. Так как число блобов на следе с четырехкратной ионизацией, оставленном релятивистским ядром  ${}^4\text{He}$ , равно  $62^{18}$ , примем  $n_0$  для двухкратной ионизации равным 40. Тогда вероятность отсутствия блобов на длинах в 10 мкм, 20 мкм и 30 мкм будет равна, соответственно, 0,018; 0,0003; 0,0000006.

Вылет трех частиц с углом разлета меньше  $1^\circ$  имитирует распад заряженной частицы на три. В табл. 2 приведены вероятности наблюдения 0, 1, 2, 3, 4 блобов на длине  $\ell$  на следе с трехкратной ионизацией ( $n_0 = 50$ ).

Таблица 2

$\ell$ , мкм	$\nu$				
	0	1	2	3	4
10	0,0067	0,0337	0,0843	0,140	0,175
20	0,000045	0,00045	0,0023	0,008	0,019
30	0,0000003	0,00000045	0,000034	0,00017	0,00065

Таким образом, анализируя значения  $W(0)$  для следов с двухкратной ионизацией и сравнивая значения  $W(\nu)$   $\nu=0, \dots, 3$  из таблиц 1 и 2, приходим к выводу о том, что на длинах меньше 10 мкм возможна имитация распадов нейтральных и заряженных частиц вследствие флуктуации ионизационных потерь частиц из первичной звезды с углом разлета менее  $1^\circ$ . Вероятность подобных эффектов лежит в пределах от 2 до 14%.

Суммируя все сказанное, приходим к выводу, что надежное выделение вершины вторичного взаимодействия при углах разлета частиц от распада до  $2^\circ$  возможно, начиная с расстояний, превышающих 10 мкм. Увеличение угла разлета позволяет продвинуться в область расстояний, исчисляемых несколькими мкм от вершины первичной звезды, однако рассчитывать на углы, большие  $10^\circ$ , не приходится. Так, при двухчастичном распаде частицы с массой, равной 2 ГэВ, вылет продуктов распада под углами в  $90^\circ$  по отношению к направлению первичной частицы в системе покоя распадающейся частицы, приводит к разлету частиц под углом в  $5^\circ$  в лабораторной системе координат при импульсе первичной частицы, равной 60 ГэВ. Увеличение импульса первичной частицы приводит только к уменьшению этого угла.

Создается впечатление, что уменьшение "шумов" измерительного микроскопа позволит продвинуться в сторону меньших расстояний. Большие надежды на это возлагаются, например, в недавно вышедшей работе /14/. Однако для углов разлета до  $2^\circ$  и в этом случае открытым остается вопрос имитации распадов частиц за счет флуктуации ионизационных потерь на следах первичной звезды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Niu K., Mikumo E. 12 Int. Conf. on Cosmic Rays, vol.7, Hobart 1971.
2. Aubert J.J. et al. Phys.Rev.Lett., 1974, 33, p.1404.
3. Abrams G.S. et al. Phys.Rev.Lett., 1974, 33, p.1453.
4. Feldman G.J. et al. Phys.Rev.Lett., 1975, 35, p.821.
5. Knapp B. et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 37, p.882.
6. Jain P.L., Girard B. Phys.Rev.Lett., 1975, 34, p.1238.
7. Комар А.А. и др. Препринт ФИАН, №48, 1975.
8. Комар А.А. et al. In: Proc. 18-th Int. Conf. on High Energy Physics, Tbilisi, 1976. ОИЯИ, Д1,2-10400, Дубна, 1977.
9. Fuchi H. et al. Proc. 18-th Int. Conf. on High Energy Physics, Tbilisi, 1976. ОИЯИ, Д1,2-10400, Дубна, 1977; 15-th Int. Cosmic Ray Conf., Plovdiv, V.
10. Банник Б.П. и др. Письма в ЖЭТФ, 1977, 25, 589. Proceedings of the 18 European Conf. on Particle Phys., Budapest, 1977, p. E-33.
11. Толстов К.Д. ОИЯИ, P1-6170, Дубна, 1971.
12. Силин И.Н. ОИЯИ, Б1-11-5144, Дубна, 1970.
13. Абдо Х.М. и др. ОИЯИ, P1-7217, Дубна, 1973.
14. Ingelman G., Andersson B. Preprint LUTP 79-6, April 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 декабря 1979 года.