

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Д13-94-478

Ю.А.Батусов, Л.М.Сороко, В.В.Терещенко

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ МЕЗООПТИЧЕСКИЙ
ФУРЬЕ-МИКРОСКОП
С ДВОЙНОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

1994

Батусов Ю.А., Сороко Л.М., Терещенко В.В.
Стереоскопический мезооптический фурье-микроскоп
с двойной фокусировкой

D13-94-478

Описана конструкция стереоскопического мезооптического фурье-микроскопа (МФМ) с двойной фокусировкой для следов частиц с низким уровнем ионизации в ядерной фотоэмульсии. Показано, что в стереоскопическом прототипе МФМ с двойной фокусировкой не существует неоднозначности в интерпретации данных об (x, z) -координатах следа частицы. Погрешность измерения угла ориентации $\theta_{x,y}$ равна всего $1,5'$ (угловых минут). Данные, собранные на длине следа частицы до 6 мм, позволяют нам проверить генетическое единство следов частиц, вышедших из точки события, зафиксировать процессы малоуглового рассеяния и отделить некоторые локальные искажения в ядерной фотоэмульсии.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1994

Batusov Yu.A., Soroko L.M., Tereshchenko V.V.
Stereoscopic Meso-Optical Fourier Transform Microscope
with Double Focusing

D13-94-478

The construction of the stereoscopic meso-optical Fourier transform microscope (MFTM) with double focusing for particle tracks of low ionization level in the nuclear emulsion is described. It is shown that in the stereoscopic prototype of the MFTM with double focusing there is no ambiguity in the interpretation of the data about the (x, z) -coordinates of the particle track. The experimental error of the orientation angle $\theta_{x,y}$ is as low as $1,5'$ (angular minute). The data gathered over the length of the particle track 6 mm enables us to check the genetic unity of the particle tracks going from the vertex point, to fix the small angle scattering events and to isolate some local geometrical distortions in the nuclear emulsion.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1994

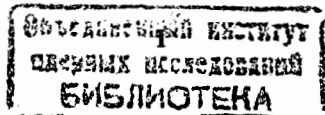
I. ВВЕДЕНИЕ

Мезооптический фурие-микроскоп (МФМ) с двойной фокусировкой для следов частиц с низким уровнем ионизации был описан в [1]. В этой статье мы приводим новый, стереоскопический, прототип этого микроскопа, объясняем его оптическую часть, структуру мезооптических изображений вблизи события с рассеянием на малый угол и результаты измерений, выполненных с этим новым прототипом микроскопа в ядерной эмульсии, экспонированной ядрами Ne высокой энергии. Мезооптические данные, собранные на длине следа частицы до 6 мм, позволяют нам проверить генетическое единство следов частиц, вышедших из вершины события, зафиксировать процессы рассеяния на малый угол и выделить некоторые локальные геометрические искажения в ядерной фотоэмульсии.

II. ОПТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ МИКРОСКОПА

Стереоскопический прототип МФМ с двойной фокусировкой представлен на рис. 1. Имеет два стереоскопических плеча, каждое из которых расположено под углом $\pm 30^\circ$ по отношению к главной оси симметрии. Слой ядерной фотоэмульсии освещается астигматическим сходящимся пучком света, при этом сагиттальный кроссовер находится внутри слоя ядерной фотоэмульсии, а меридиональный кроссовер — в плоскости, в которой помещена светочувствительная матрица 6 ПЗС-ТВ-камеры [1]. Свет, который дифрагирован на прямом следе частицы, идет через иммерсионный слой между стеклянной подложкой ядерной фотоэмульсии и входной плоской поверхностью фронтальной сферической линзы 1 без каких-либо процессов рефракции света. Все дифрагированные лучи света проходят перпендикулярно, выходной сферической поверхности фронтальной линзы 1.

Два цилиндрических объектива 2 работают как две независимые одномерные проекционные системы. Дифрагированные лучи света, которые собираются цилиндрическим объективом 2, фокусируются в меридиональном сечении в светлое пятно на светочувствительной матрице 6 ПЗС-ТВ-камеры. Чтобы перенести два мезооптических изображения на одну общую ПЗС-матрицу, был



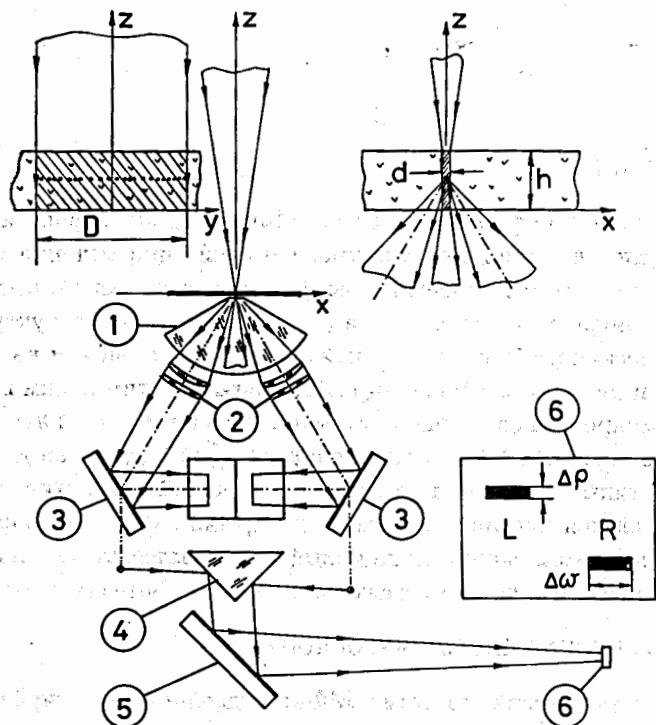


Рис.1. Схема стереоскопического мезооптического фурье-микроскопа (МФМ) с двойной фокусировкой: 1 — фронтальная сферическая иммерсионная линза; 2 — цилиндрические объективы; 3 — плоское зеркало; 4 — двойное зеркало; 5 — плоское зеркало; 6 — фоточувствительная матрица ПЗС-ТВ-камеры; L и R — левое и правое мезооптические изображения (пятна); d — ширина освещенной области; D — длина освещенной области; h — толщина слоя ядерной фотоэмульсии

использован оптический интерфейс из плоских зеркал 3 и 5 и из двойного зеркала 4. Геометрические размеры двух мезооптических изображений, $\Delta\rho$ и $\Delta\omega$, определяют разрешение вдоль поперечной координаты x (1 элемент изобр. = 0,9 мкм) и разрешение вдоль угловой координаты Θ_{xy} (1 элемент изобр. = 0,89'). Линейное

увеличение всей системы транспортировки света (оптического интерфейса) было равно $M = 4:1$.

Реальная конструкция оптического блока из фронтальной сферической линзы 1 и из двух цилиндрических объективов дана на рис.2. В стереоскопическом прототипе МФМ мы измерили непосредственно два видимых расстояния до точки O, для левого (ρ_1) и для правого (ρ_2) мезооптических пятен [2] (рис.3). Истинная поперечная координата следа частицы ρ_0 и истинная координата по глубине z_0 определяются уравнениями:

$$z_0 = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2 \sin \alpha_{1/2}}, \quad \rho_0 = \frac{\rho_1 - \rho_2}{2 \cos \alpha_{1/2}}, \quad (1)$$

где $\alpha_{1/2}$ — угол наклона стереоскопического плеча.

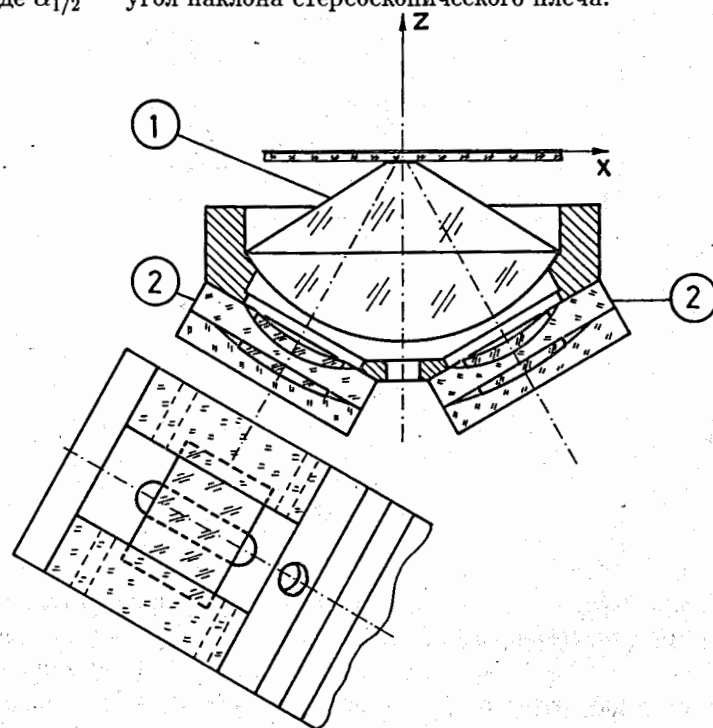
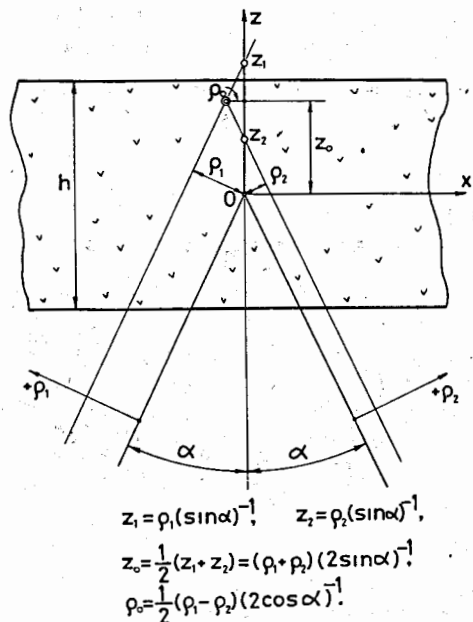


Рис.2. Реальная конструкция оптического блока из фронтальной сферической линзы 1 и двух цилиндрических объективов 2, жестко смонтированных на элементах из органического стекла.

Для $\alpha_{1/2} = 30^\circ$ в нашей конструкции мы имеем

$$z_0 = (\rho_1 + \rho_2), \quad \rho_0 = \frac{\rho_1 - \rho_2}{1,41} \quad (2)$$

Таким образом, в отличие от первоначальной системы МФМ, описанной в [1], у нас нет никакой неоднозначности в интерпретации (x,z)-координат.



$$z_1 = \rho_1 (\sin \alpha)^{-1}, \quad z_2 = \rho_2 (\sin \alpha)^{-1},$$

$$z_0 = \frac{1}{2} (z_1 + z_2) = (\rho_1 + \rho_2) (2 \sin \alpha)^{-1},$$

$$\rho_0 = \frac{1}{2} (\rho_1 - \rho_2) (2 \cos \alpha)^{-1}.$$

Рис.3. Поперечное сечение ядерной фотоэмульсии с прямым следом частицы, ориентированным перпендикулярно плоскости рисунка: ρ_1 и ρ_2 — видимые расстояния от следа частицы до точки O для левого и правого наблюдателей; Z_1 и Z_2 — видимые Z -координаты для левого и правого наблюдателей; ρ_0 — истинное расстояние от следа частицы до оптической оси; а Z_0 — истинная Z -координата следа частицы

III. СТРУКТУРА МЕЗООПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Типичный случай рассеяния частицы на малый угол с углом рассеяния Θ_{zy} , показанный на рис.4 в виде фрагментов при трех различных продольных координатах, преобразуется при помощи стереоскопического МФМ с двойной фокусировкой в три различные картины на ПЗС-матрице (рис.5). На картине, которая наблюдается при продольной координате $x = 4,413$ мм, мы видим два мезооптических изображения, L и R, следа частицы A. На картине, которая формируется при продольной координате $x = 4,593$ мм, мы видим две пары мезооптических изображений: одну пару от следа

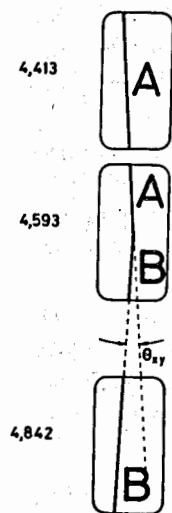
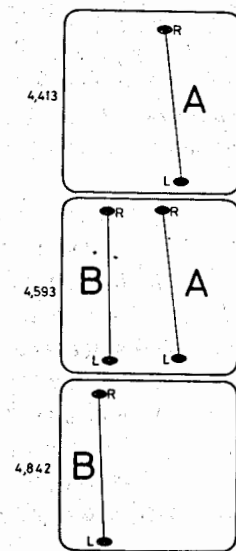


Рис.4. Случай рассеяния на малый угол $A \rightarrow B$, наблюдаемый при трех различных продольных координатах положения столика МФМ: $y = 4,313$; $4,593$; $4,842$ мм

Рис.5. Случай рассеяния на малый угол $A \rightarrow B$, представленный на рис.4, преобразуется МФМ в три картины на фоточувствительной матрице ПЗС-ТВ-камеры, которые показаны для тех же продольных координат столика МФМ, как и на рис.4



частицы А, а другую — от следа частицы В. В положении с продольной координатой $x = 4,842$ мм мы видим опять только одну пару мезооптических изображений следа частицы В.

Результаты реальных измерений этого события рассеяния на малый угол, выполненных при помощи МФМ, показаны на рис.6. Измерения были сделаны при различных продольных координатах от $x = 2,7$ мм до $x = 5,8$ мм. Все эти измерения были выполнены в мезооптической моде, когда след частицы, подлежащий измерению, не подвергался какому-либо разбиению на микроскопические элементы или отдельные зерна серебра. Непосредственным объектом измерений были угол ориентации Θ_{xy} и угол погружения Θ_z следа частицы. Мы знаем, что последние однозначно определяются положениями двух мезооптических изображений в пределах ПЗС-матрицы. Напомним, что мезооптические изображения видны на экране монитора только в положении стола МФМ, когда след частицы находится в пределах освещенной области.

Площадь S мезооптического изображения, оцененная для двух уровней компарации, $c = 185$ и $c = 220$, при различных поперечных координатах, показана на рис.7 в (элемент изобр.)². Ширина на полувысоте приведенных двух кривых равна $\Gamma_{1/2} = 7$ мкм и $\Gamma_{1/2} = 5,8$ мкм соответственно.

Из рис.6 мы видим, что событие с рассеянием на малый угол видно в МФМ как резкий локальный скачок от одного угла ориентации Θ_{xy}^{in} к другому углу ориентации Θ_{xy}^{out} . Не наблюдается никаких промежуточных значений углов ориентации между Θ_{xy}^{in} и Θ_{xy}^{out} .

При определенной продольной координате положения стола МФМ мы можем видеть оба следа частицы, 4А и 4В, внутри освещенной области длиной $D = 1,6$ мм. На длине $\approx 0,2$ мм мы наблюдаем одновременно обе пары мезооптических изображений. Тот факт, что последняя область ($\approx 0,2$ мм) короче, чем длина освещенной области ($\approx 1,6$ мм), может быть объяснен следующим образом. Мы знаем, что интенсивность мезооптических пятен на ПЗС-матрице имеет вид спадающей функции от длины следа частицы. Таким образом, при определенном уровне компарации, установленном в персональном компьютере перед измерениями методом

подбора, интенсивность фотоэлектрического сигнала от очень короткого следа частицы будет настолько мала, что ее нельзя будет зарегистрировать.

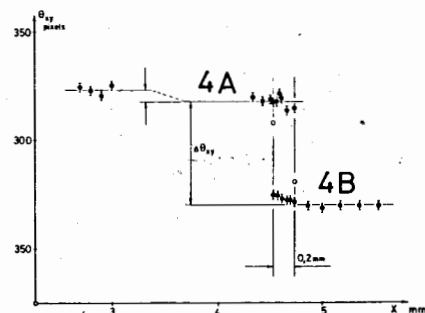


Рис.6. Данные, измеренные при помощи МФМ, случая рассеяния на малый угол $4A \rightarrow 4B$. $\Delta\Theta_{xy} = (42 \pm 2)^\circ$

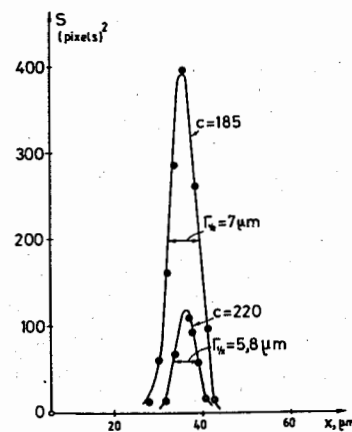


Рис.7. Площадь бинарного мезооптического пятна, S , при двух различных уровнях компарации, $c = 185$ и $c = 220$, в зависимости от поперечной координаты.

IV. ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Мы выбрали несколько типичных следов первичных частиц от ускоренных ядер Ne, несколько событий ядерного взаимодействия и несколько вторичных частиц (α -частицы). Один такой случай с четырьмя α -частицами, образованными ядром Ne-e, показан на рис.8 вместе со следом Neon-g без расщепления. Оба ядра Ne являются первичными частицами, ускоренными до импульса $P_0 = 90$ ГэВ/с.

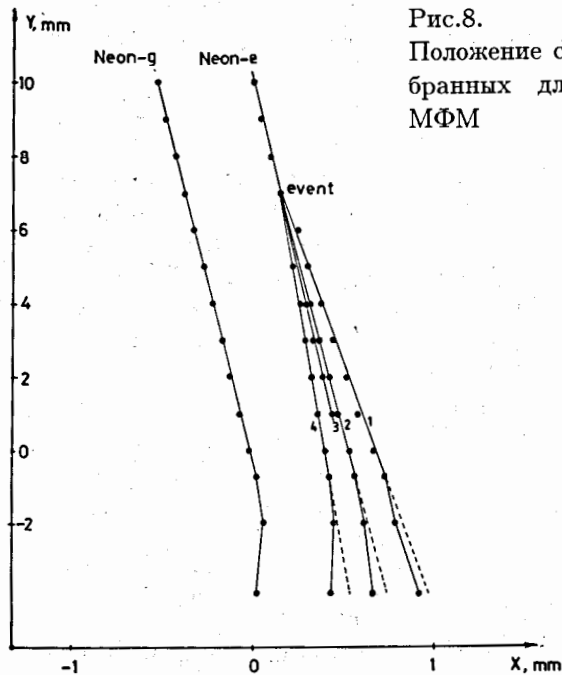


Рис.8.
Положение следов частиц, вы-
бранных для измерения на
МФМ

Прежде всего мы испытали алгоритм поиска событий [3], согласно которому мезооптические изображения следов частиц от события ложатся на синограмму как для левого, так и для правого наблюдателей. Для малых углов рассеяния мезооптические изображения должны лечь на прямую линию. На рис.9 показаны соответствующие данные для четырех следов вторичных частиц, идущих из события, приведенного на рис.8. Углы ориентации этих четырех следов частиц приведены для различных поперечных и продольных координат. Продольные координаты простираются от $y = 0,7$ мм до $y = 6$ мм. Ясно видно, что все восемь прямых линий сходятся в малой области с $x_{\text{соб}} = (0,13 \pm 0,01)$ мм.

На рис.10 мы приводим углы ориентации Θ_{xy} для α -частиц "2" и "3", а также для ядра Ne при различных значениях продольной координаты от 4,2 до 10,6 мм. След частицы "2" демонстрирует один случай рассеяния на малый угол в точке с продольной коор-

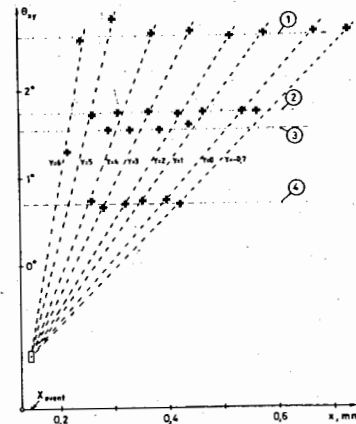


Рис.9.
Испытание алгоритма поиска
событий [3] для четырех α -
частиц, выходящих из одной
вершины. Ожидаемая зона по-
ложения вершины события по-
казана в виде малого прямо-
угольника с поперечной коор-
динатой $(0,13 \pm 0,01)$ мм

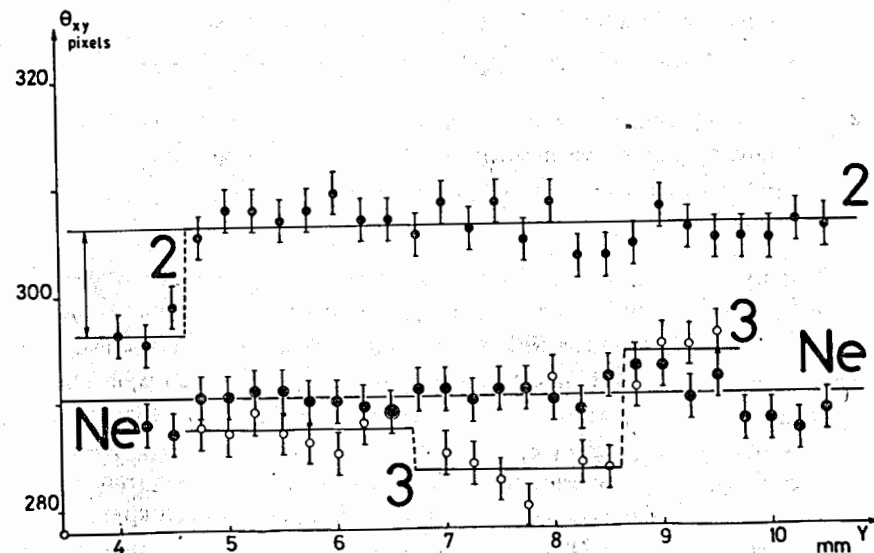


Рис.10. Результаты измерений на МФМ для трех следов частиц: "2",
"3" и Ne

динатой $y = 4,7$ мм и с локальным скачком $\Delta\Theta_{xy} = (9 \pm 2)'$. След частицы "3" испытывает два таких акта рассеяния на малый угол, в точке с $y = 6,6$ мм с углом $\Delta\Theta_{xy}^1 = (3 \pm 2)'$ и в точке с $y = 8,7$ мм с углом $\Delta\Theta_{xy}^2 = (10 \pm 2)'$. След Ne не дает никаких локальных скачков.

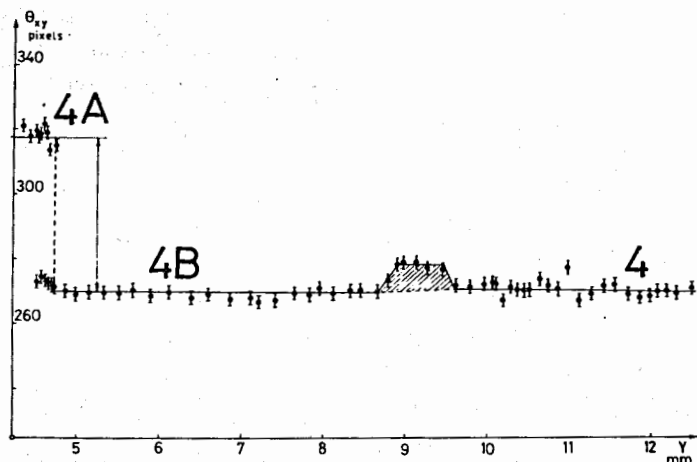


Рис.11. Пример геометрических искажений в ядерной фотоэмульсии, наблюдаемых при помощи МФМ. Область локальных геометрических искажений показана заштрихованной

Теперь рассмотрим одно определенное указание на локальные геометрические искажения в ядерной фотоэмульсии, которое было обнаружено при помощи МФМ. На рис.11 угол ориентации Θ_{xy} для следа частицы 4B, показанного ранее на рис.6, приведен для продольных координат от $y = 4,6$ мм до $y = 12,5$ мм. Немонотонное изменение угла ориентации Θ_{xy} в районе $y \approx 9$ мм может быть воспринято, естественным образом, как два следующих один за другим случая рассеяния на малый угол с угловыми инкрементами $\Delta\Theta_{xy} = +(7 \pm 2)'$ и $\Delta\Theta_{xy} = -(7 \pm 2)'$ в точках с продольными координатами $y = 8,9$ мм и $y = 9,5$ мм. Остальные участки следа частицы 4B, слева и справа от указанного участка, лежат на одной общей прямой линии. Очевидно, что вероятность того,

что эта характерная особенность представляет действительно следующие друг за другом два события с рассеянием на малый угол, очень мала. Поэтому эти наблюдения мы можем интерпретировать как локальные геометрические искажения ядерной фотоэмульсии на длине $\approx 0,6$ мм. Вторым доводом в пользу указанной интерпретации является то, что мы наблюдаем сглаженные изменения угла ориентации вместо резкого локального скачка. Последнее мы наблюдали при продольной координате $y = 4,6$ мм.

V. ВЫВОДЫ

1. Описан стереоскопический прототип мезооптического фурье-микроскопа (МФМ) с двойной фокусировкой.
2. Испытан алгоритм поиска событий для четырех следов частиц с общей вершиной на длине 6,7 мм.
3. Получено определенное указание на локальные геометрические искажения, которые воспринимаются как следующие одно за другим несколько событий с рассеянием на малый угол.

Л и т е р а т у р а

1. Yu.A.Batusov, L.M.Soroko, V.V.Tereshchenko. — JINR Commun., E13-92-179, Dubna, 1992.
2. L.M.Soroko. — Axicons and meso-optical imaging devices. In: Progress in Optics, ed. E.Wolf, v.27, 109-160, 1989, Amsterdam, Elsevier (p.130, Fig.14).
3. Д.Бенце, Л.М.Сороко. — Сообщение ОИЯИ, P13-85-137, Дубна, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 декабря 1994 года.