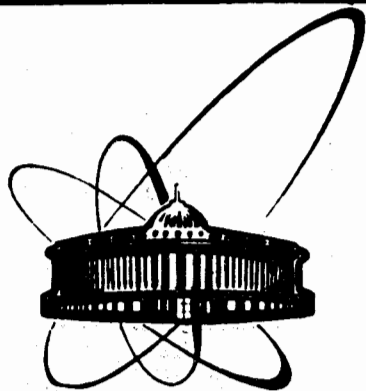


89-449



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

A 91

D13-89-449

А.Я. Астахов, Д. Бенце, А. Кишварди,  
Л. Молнар, Л.М. Сороко

СРАВНЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ  
В МЕЗООПТИЧЕСКОМ ФУРЬЕ-МИКРОСКОПЕ  
И В ТРАДИЦИОННОМ ОПТИЧЕСКОМ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ МИКРОСКОПЕ

Метод калибровки

Направлено на Конференцию по оптике  
(Эрнст Аббе-конференция), Йена, ГДР, 1989 г.

1989

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Принцип действия мезооптического фурье-микроскопа /МФМ/ для ядерной фотоэмульсии описан в <sup>1-6</sup>. МФМ предназначен для быстрого поиска прямых следов частиц в заданном участке ядерной фотоэмульсии по известным значениям угла ориентации искомого следа частицы и угла погружения. В <sup>4</sup> описан МФМ, управляемый от компьютера, а также приведены результаты первого цикла экспериментального опробования МФМ на следах частиц высокой ионизации. Впервые в истории оптической микроскопии и методики ядерной фотоэмульсии все операции в МФМ производились без сканирования по глубине, механического или электронного. Благодаря этому новая система просмотра ядерной фотоэмульсии на основе МФМ функционировала по крайней мере в 100 раз быстрее, чем любая из известных систем с использованием традиционного оптического микроскопа.

Описываемые в данной работе эксперименты являются прямым продолжением работы <sup>4</sup>. Цель исследований состояла в том, чтобы получить более полную информацию о характеристиках автоматизированной системы просмотра ядерной фотоэмульсии на основе МФМ. Для этого следы частиц в заданном участке ядерной фотоэмульсии были измерены дважды: сначала с помощью МФМ, а затем с помощью оптического измерительного микроскопа /ОИМ/. Сопоставление двух серий измерений одного и того же объекта дало возможность получить более полную информацию о метрических характеристиках МФМ. В частности, были сопоставлены z-координаты следов частиц, измеренные указанными двумя системами, данные об угле погружения следа частицы, а также заново проанализировано поведение дисперсий измерений других характеристик следов частиц, в частности искривления, обусловленные дисторсией слоя ядерной фотоэмульсии в процессе фотохимической обработки.

## 2. УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Как известно <sup>4-6</sup>, МФМ формирует два мезооптических изображения для каждого прямого следа частицы. С помощью оптического интерфейса <sup>4-7</sup> оба мезооптических изображения переносятся на одну общую матрицу прибора с зарядовой связью /ПЗС/ <sup>4</sup>. Бла-



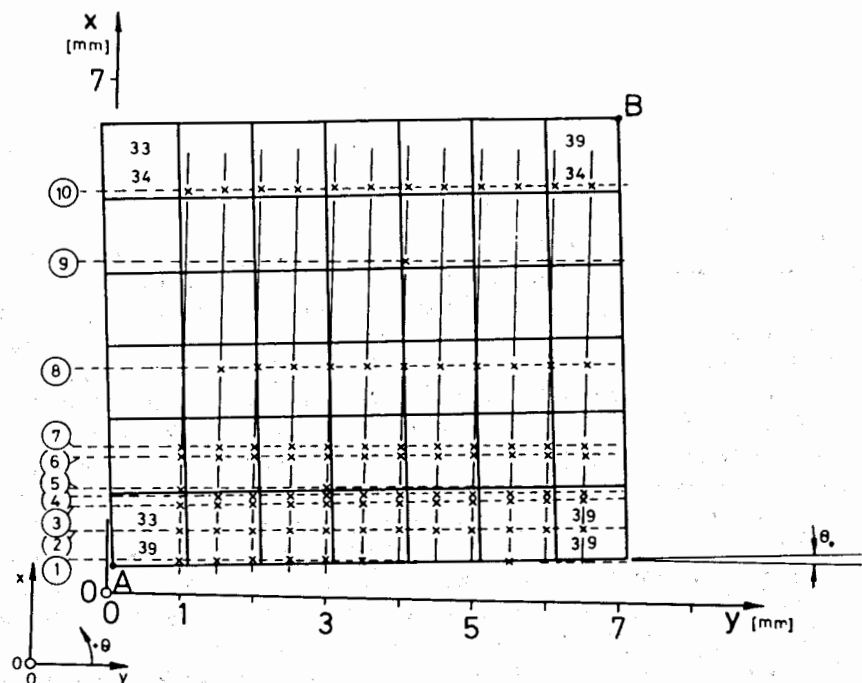


Рис. 1. Расположение обмеренных следов частиц относительно маркировочной сетки ядерной фотоэмульсии.

годаря этому все геометрические характеристики наблюдаемого следа частицы - координата  $x$ , глубина залегания  $z$ , угол ориентации  $\theta_{xy}$  и угол погружения  $\theta_z$  - измеряются с помощью МФМ в условиях, когда МФМ неподвижен относительно ядерной фотоэмульсии и когда оператору не надо производить ни операцию провешивания визирной линии вдоль прямого следа частицы, ни операцию перефокусировки по глубине.

Телевизионное изображение в виде двух ярких пятен, которые соответствуют левому и правому мезооптическим изображениям прямого следа частицы, подвергалось фильтрации при помощи двухуровневого компаратора и топологической операции устранения случайных одиночных точек и конгломератов. Далее компьютер вычислял координаты центра тяжести очищенных левого и правого мезооптических изображений прямого следа частицы ( $x_{TV}^L, y_{TV}^L, x_{TV}^R, y_{TV}^R$ ) для каждого положения каретки МФМ.

В процессе просмотра заданного участка ядерной фотоэмульсии каретка МФМ перемещалась вдоль оси  $X$  в направлении, которое шло почти перпендикулярно ориентации искомых следов частиц.

На рис. 1 показаны: система координат  $X, Y$ ; маркировочная сетка на поверхности ядерной фотоэмульсии; нумерация площадок размером  $1 \text{ мм}^2$ , а также положение обмеренных следов частиц высокой ионизации, находящихся в пределах просмотренной площадки размером  $6 \times 6 \text{ мм}$ .

Повторный обмер следов частиц в том же участке ядерной фотоэмульсии проводился традиционно с помощью двухкоординатного измерительного микроскопа ДИП-1 с ценой отсчета координат  $X$  и  $Y$ , равной  $0,5 \text{ мкм}$ . Линии сканирования МФМ шли под углом  $1,95^\circ$  к маркировочной сетке. Крестиками обозначены те положения центра поля зрения МФМ, где были записаны в память компьютера мезооптические изображения соответствующих следов частиц, помеченных на рис. 1 регистрационными номерами от №1 до №10. Внешние углы площадок 33/39 и 39/34 имеют координаты  $X=0,386 \text{ мм}$ ,  $Y = /0,10 \pm 0,04/ \text{ мм}$  и  $X=6,615 \text{ мм}$ ,  $Y = /6,82 \pm 0,04/ \text{ мм}$  соответственно.

Так как шаг между соседними положениями каретки МФМ равнялся  $20 \text{ мкм}$  вдоль оси  $X$ , а ширина поля зрения МФМ составляла  $60 \text{ мкм}$ , то один и тот же след частицы мог быть измерен от одного до трех раз в процессе такого сканирования.

Мезооптические изображения на экране дисплея компьютера располагались в описываемых экспериментах одно над другим, так что левое мезооптическое изображение находилось в верхней половине кадра, а правое мезооптическое изображение располагалось в нижней половине кадра. Кроме координат центров тяжести левого и правого мезооптических изображений в массив выходных сигналов МФМ входит также площадь каждого мезооптического изображения, выраженная в числе элементов матрицы ПЗС.

Измерения следов частиц на МФМ проводились в полностью автоматизированном режиме. За 40 минут в память компьютера было записано 207 кадров. На первой стадии фильтрации 45 из указанных изображений были отброшены. Это были мезооптические изображения следов частиц, которые шли под такими углами  $\theta_{xy}$  и  $\theta_z$ , что в кадр матрицы ПЗС попадало только одно из двух мезооптических изображений. Таким образом, в массив выходных сигналов МФМ вошли 162 телевизионных кадра, содержащих два мезооптических изображения следов частиц в ядерной фотоэмульсии. Этот массив выходных данных МФМ относится к 10 следам частиц, которые были найдены также при помощи оптического измерительного микроскопа. С другой стороны, все следы частиц в заданном интервале углов  $\theta_{xy}$  и  $\theta_z$ , которые были видны в оптическом микроскопе, были обнаружены также при помощи МФМ. Таким образом, было показано, что имеет место взаимно-однозначное соответствие между массивами данных, полученными двумя методами.

### 3. КАЛИБРОВКА ДАННЫХ МФМ

Сопоставление результатов двух серий измерений, первая из которых была произведена с помощью МФМ, а вторая - на оптическом измерителе ДИП-1, сводилось к сравнению координат  $x$  и  $z$  следов частиц в точках, помеченных крестиками на рис. 1, к проведению линейной аппроксимации последовательности координат  $x$  и  $z$  как функции от координаты  $y$ , к оценке средне-квадратичного разброса /дисперсии/ для координат  $x$  и  $z$ , а также для углов  $\theta_{xy}$  и  $\theta_z$ . В сводные результаты измерений, полученные двумя системами, входят: последовательность координат  $x_1$  следа частицы, которые были измерены с помощью ДИП-1 при различных значениях  $y$  с шагом  $\Delta y = 0,5$ ; линейная аппроксимация последовательности  $x_1 = x_1(y)$  функцией

$$x_2 = C_1 y + C_2 \quad /1/$$

методом наименьших квадратов; последовательность координат  $x_3$ , измеренных с помощью МФМ; линейная аппроксимация координат  $x_3$ ; последовательность координат  $z_1$ , измеренных с помощью МФМ и исправленных на истинное положение медианной плоскости ядерной фотоэмульсии; линейная аппроксимация последовательности  $z_1 = z_1(y)$  функцией

$$z_2 = C_3 y + C_4 \quad /2/$$

методом наименьших квадратов, а также последовательность измеренных на МФМ углов  $\theta_{xy}$  и  $\theta_z$ . При этом координаты  $x_3 = x$ ,  $z_1 = z$ , и углы  $\theta_{xy}$  и  $\theta_z$  определяются из уравнений

$$x = q(x) \cdot (x_{TV}^L - x_{TV}^R),$$

$$z = q(z) \cdot \frac{x_{TV}^L + x_{TV}^R}{2}, \quad /3/$$

$$\theta_{xy} = q(\theta_{xy}) \cdot \frac{y_{TV}^L + y_{TV}^R}{2},$$

$$\theta_z = q(\theta_z) \cdot (y_{TV}^L - y_{TV}^R),$$

где калибровочные коэффициенты  $q(x)$ ,  $q(z)$ ,  $q(\theta_{xy})$  и  $q(\theta_z)$  находились экспериментально. Коэффициенты  $q(x) = 0,5811$  мкм/элиз

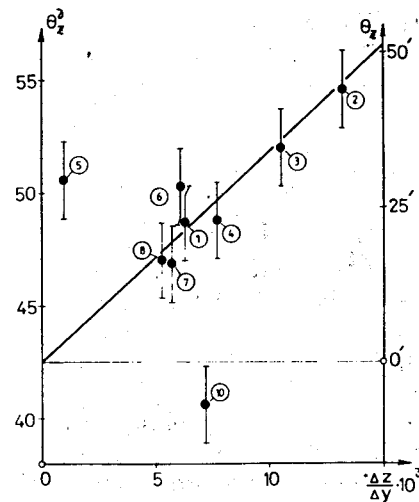


Рис. 2. Данные измерения, представленные для калибровки угла погружения мледа частицы  $\theta_z$ .

/элемент изображения/,  $q(z) = 10,4311$  мкм/элиз и  $q(\theta_{xy}) = 1,59 \cdot 10^{-2}$  град./элиз определены путем смещения каретки МФМ на заданную величину  $x$ , перемещения вилки МФМ с ядерной фотоэмульсией вертикально на заданную величину  $z$ , а также поворотом оптического интерфейса на заданный угол  $\theta_{xy}$ .

Указанные соотношения /3/ были измерены в каждом таком опыте с точностью до постоянной величины, которая могла изменяться от опыта к опыту. Поэтому на МФМ можно вести только относительные измерения, например находить разность  $z$ -координат двух следов частиц, находящихся на одном и том же участке ядерной фотоэмульсии.

Калибровочный коэффициент  $q(\theta_z)$  оценен из корреляционной связи угла погружения  $\theta_z^0$ , измеренного с помощью МФМ и выраженного в числе изображения /элиз/ матрицы ПЗС, и угла погружения следа частицы  $\theta_z$ , рассчитанного по известным  $\Delta z$  и  $\Delta y$ , полученным на ДИП-1. На рис. 2 приведены результаты этих измерений для всех следов частиц, кроме следа частицы №9. Так как след частицы №5 обмерен всего в двух точках /см. рис. 1/, то он также не был учтен в этом анализе. След частицы №10 отброшен потому, что он имеет аномально высокие значения дисперсии измерений углов  $\theta_{xy}$  и  $\theta_z$  по сравнению со всеми остальными следами частиц. Все остальные следы частиц лежат в системе координат  $\theta_z^0$ ,  $\frac{\Delta z}{\Delta y}$  /вблизи прямой линии, тангенс угла наклона

которой задает калибровочный коэффициент  $q(\theta_z) = 3,47$  /элиз.

Независимая проверка калибровочного коэффициента  $q(z)$  была сделана по корреляционной связи между значениями  $z_0$ , полученными на ДИП-1, и значениями  $z$ , измеренными с помощью МФМ для одной и той же координаты  $y$ . Из рис. 3 видно, что

$$z = 1,243 z_0.$$

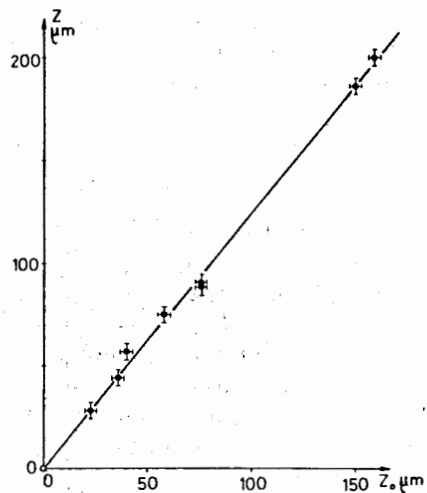


Рис. 3. Данные измерений, представленные для калибровки z-координаты следа частицы.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты измерения одних и тех же следов частиц высокой ионизации с помощью МФМ и оптического измерительного микроскопа ДИП-1 позволяют сделать следующие выводы:

1/ имеет место взаимно однозначное соответствие между массивами данных, которые были получены двумя принципиально различными методами;

2/ найдены значения калибровочных коэффициентов, с помощью которых по положениям двух мезооптических изображений на телевизионном дисплее можно определить координаты  $x$  и  $z$ , а также угол ориентации  $\theta_{xy}$  и угол погружения  $\theta_z$  обмеряемого следа частицы:  $q(x) = 0,5811$  мкм/элиз,  $q(z) = 10,4311$  мкм/элиз,  $q(\theta_{xy}) = 0,95$  /элиз и  $q(\theta_z) = 3,47$  /элиз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.Я. и др. - Сообщение ОИЯИ P13-85-378, Дубна, 1985.
2. Бенце Д., Сороко Л.М. - Сообщение ОИЯИ P13-86-659, Дубна, 1986.
3. Бенце Д. и др. - Сообщение ОИЯИ P13-86-630, Дубна, 1986.
4. Astakhov A.Ya. et al. - JINR Preprint E13-88-630, Dubna, 1988.
5. Soroko L.M. - In: Progress in Optics, ed. E.Wolf, Elsevier, 1989, v.27, p.136.
6. Сороко Л.М. - ЭЧАЯ, 1989, т.20, вып.1, с.156.
7. Бенце Д. и др. - А.с.СССР №1402981, ОИ, 1988, №2, с.159.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 июня 1989 года.

Астахов А.Я. и др.

D13-89-449

Сравнение выходных данных в мезооптическом фурье-микроскопе и в традиционном оптическом измерительном микроскопе. Метод калибровки

Описаны эксперименты, которые были выполнены с целью сравнения результатов измерения следов частиц в ядерной фотозмульсии с помощью мезооптического фурье-микроскопа /МФМ/ и оптического измерительного микроскопа. Изложены методы калибровки выходных данных МФМ и приведены их результаты.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Astakhov A.Ya. et al.

D13-89-449

Comparison of the Output Data in Meso-optical Fourier-Transform Microscope and in Traditional Optical Microscope. Calibration Technique

The experiments accomplished for comparison of the results of the measurements of the particle tracks in the nuclear emulsion by the meso-optical Fourier-Transform microscope (MFTM) and by the optical microscope are described. The techniques of the calibration of the output data of the MFTM are presented and the results of the calibration are given.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989