

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

2513/83

16/5-83

P13-83-120

А.Я.Астахов, Л.М.Сороко

МЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ФУРЬЕ-МИКРОСКОПА  
ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ

1983



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Принцип действия фурье-микроскопа для ядерной фотоэмульсии изложен в <sup>1/1/</sup>. Во <sup>2/2/</sup> описаны эксперименты и приведены моделирующие расчеты, подтверждающие его работоспособность. В <sup>3/3/</sup> описано устройство и сформулирован принцип действия многоканальной системы формирования световых сигналов фурье-микроскопа для ядерной фотоэмульсии, дана конструкция собирающего зеркального конденсора. В <sup>3/3/</sup> приведена также полная схема фурье-микроскопа, которая содержит источник когерентного света, фурье-объектив, зеркальный конденсор, многоканальную систему фотоприемников, систему перемещения ядерной фотоэмульсии, датчики положения ядерной фотоэмульсии, блок записи данных, процессор и дисплей для воспроизведения синтезированного изображения прямых следов частиц в ядерной фотоэмульсии. В <sup>3/3/</sup> дана схема расположения полосок сканирования и определена точность фиксирования центра тяжести отрезка следа частицы, попавшего в поле зрения, равная +100 мкм для диаметра поля зрения в 500 мкм.

В настоящей работе описаны условия измерения метрических характеристик фурье-микроскопа и приведены результаты этих измерений. Дано синтезированное изображение тест-объекта, которое мы получили, минуя операцию сканирования объема по глубине и стадию формирования изображения в обычном смысле этого слова. Получена оценка плотности следов частиц на единицу площади ядерной фотоэмульсии.

## 2. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве тест-объекта было использовано оптическое стекло с нанесенной на нем риской шириной 2 мкм при помощи алмазного резца, используемого для изготовления дифракционных решеток <sup>4/4/</sup>.

Ядерная фотоэмульсия, просмотренная при помощи фурье-микроскопа, представляла собой один слой из стопки, облученной на ускорителе FNAL. Так как открытая поверхность слоя ядерной фотоэмульсии, нанесенного на стекло, является матовой из-за неровностей рельефа, то участок для просмотра закрывался оптическим стеклом через тонкий слой иммерсионного масла.

На рис. 1 дана схема, иллюстрирующая процесс формирования видеосигнала в одном из световодов для случая, когда одиночный след частицы ориентирован перпендикулярно направлению сканирования и когда длина следа превышает эффективный диаметр поля



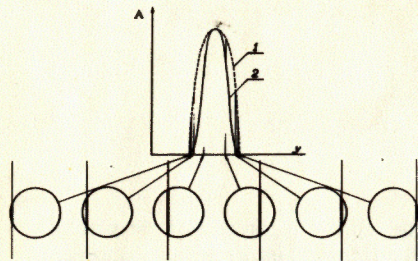


Рис.1. Схема формирования видеосигналов в одном из световодов при поступательном перемещении ядерной фотозмульсии относительно пучка света от лазера.

зрения. При перемещении следа частицы относительно пучка света от лазера амплитуда видеосигнала возрастает, достигает максимального значения и затем спадает до нуля.

Распределение яркости света по пучку на выходе лазера в одномодовом режиме изменяется по закону

$$i(x, y) \sim \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right], \quad /1/$$

где  $x$  и  $y$  - координаты точки, отсчитанные от центра пучка, а  $\sigma = 0,576$  мм для гелий-неонового лазера HNA 180 Carl Zeiss Jena. Поэтому форма видеосигнала на рис.1 описывается не пунктирной кривой /1/, соответствующей постоянной яркости пучка света внутри круга и нулевому значению вне круга, а близка к сплошной кривой /2/.

Измерения метрических характеристик фурье-микроскопа проводились при ручном перемещении кареток с шагом  $/50 \pm 2,5/$  мкм вдоль оси  $x$  и с шагом  $/150 \pm 2,5/$  мкм вдоль оси  $y$  между центрами соседних полосок сканирования /3/. Для каждого положения кареток фиксировались значения уровня опорного сигнала, подаваемого на второй вход компаратора. Чтобы оценить ошибку таких измерений, были сделаны три серии повторных измерений трех уровней опорного сигнала. Из рис.2, где приведены результаты этих измерений, можно сделать вывод о том, что стандартная ошибка измерений уровня опорного сигнала  $\Delta A$  не превышает  $\pm 6$  делений.

Точность фиксирования центра тяжести  $y_0$  и ширины  $\Gamma$  видеосигнала при определенном значении порога дискриминации опорного сигнала определяется производной функции  $A_N(y)$ , описывающей зави-

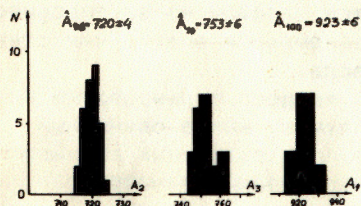


Рис.2. Результаты повторных измерений амплитуды опорного сигнала, подаваемого на второй вход компаратора.

симость видеосигнала от координаты  $y$  в некотором световоде с номером  $N$ , на уровне порога дискриминации. А именно,

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{1}{2} (y_{вх.} + y_{вых.}), \\ \Delta y_0 &= \frac{\Delta y}{\sqrt{2}}, \\ \Gamma &= y_{вых.} - y_{вх.}, \quad \Delta \Gamma = \sqrt{2} \Delta y \end{aligned} \right\} /2/$$

где  $y_{вх.}$  и  $y_{вых.}$  - координаты точек, в которых амплитуда видеосигнала начинает превышать ( $y_{вх.}$ ) и прекращает превышать ( $y_{вых.}$ ) - заданный уровень дискриминации. Величина  $\Delta y$  определяется соотношением

$$\Delta y = \frac{dy}{dA_N} \Delta A, \quad /3/$$

где  $dy/dA_N$  - обратная крутизна кривой  $A_N(y)$ , причем  $\Delta y$  задано в мкм, а величина  $A_N(y)$  - в делениях.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис.3 приведены результаты измерений амплитуды видеосигнала для ориентации тест-сигнала под углом -  $13^\circ$ , 95 /световод №99/ к оси  $x$ . Фокусное расстояние фурье-объектива равнялось 300 мм. На рис.4 приведены результаты измерений амплитуды видеосигнала для фурье-объектива с фокусным расстоянием 210 мм. Найденные по этим данным значения обратной крутизны кривой  $A_N(y)$  на полувысоте и величины  $\Delta y$  для  $\Delta A = \pm 6$  приведены в таблице.

Таблица

Рисунок	№3	№4
$dy/dA_N$ , $\frac{\text{мкм}}{\text{дел}}$	1,2	0,5
$\pm \Delta y$ , мкм	14	6



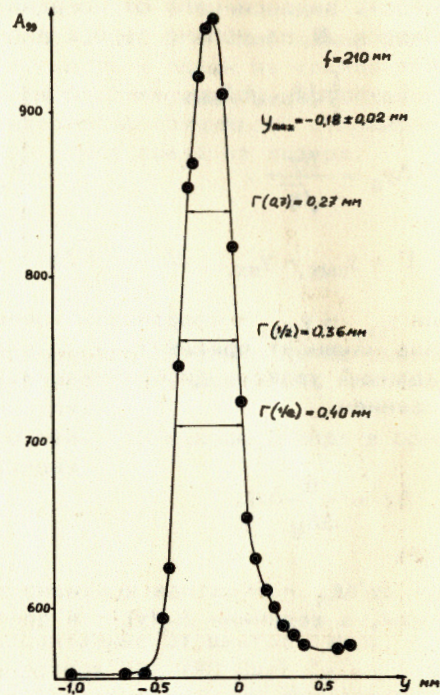
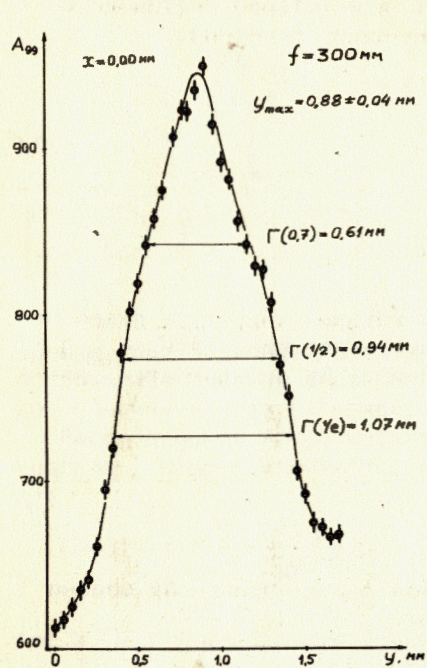


Рис.3. Результаты измерения видеосигнала для ориентации тест-сигнала под углом  $-13^{\circ}95$ . Фокусное расстояние фурье-объектива равно 300 мм.

Рис.4. То же, что и на рис.3, но для фокусного расстояния фурье-объектива, равного 210 мм.

Полная ширина видеосигнала  $\Gamma_{1/2}$  на половине максимального значения видеосигнала относительно равномерного уровня фона составляет  $\Gamma_{1/2} = 0,37$  мм при эффективном диаметре поля зрения фурье-микроскопа, равном 1 мм.

На рис.5 даны результаты измерений амплитуды видеосигнала для ориентации следов частиц в ядерной фотоэмульсии под углом  $51^{\circ}2$  /световод №36/ при сканировании вдоль оси  $y$  при эффективном диаметре поля зрения 1 мм. Аналогично были выполнены измерения для ориентации следов частиц под углом  $-3^{\circ}45$  /световод №89/. Обратная крутизна кривой  $A_N(y)$  для "сплошных" и "серых" следов частиц в ядерной фотоэмульсии равна 0,9 мкм/дел., а полная ширина видеосигнала  $\Gamma_{1/2}$  на полувысоте равна 0,4 мм.

Кроме световодов №36 и №89, такие же измерения были проведены для световодов №131 и №132. Полная длина отрезка пути, просканированного вдоль оси  $y$  для ядерной фотоэмульсии при эффективном поле зрения равном 1 мм, составляет 7,4 мм. На этом отрезке были зафиксиро-

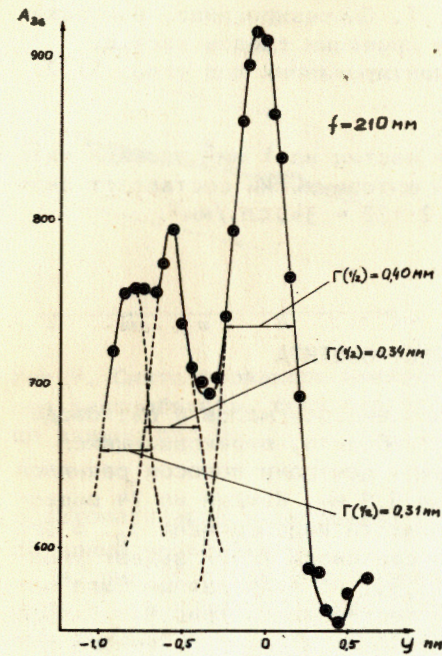


Рис.5. Результаты измерения видеосигнала для угла ориентации следов частиц в ядерной фотоэмульсии, равного  $51^{\circ}2$ .

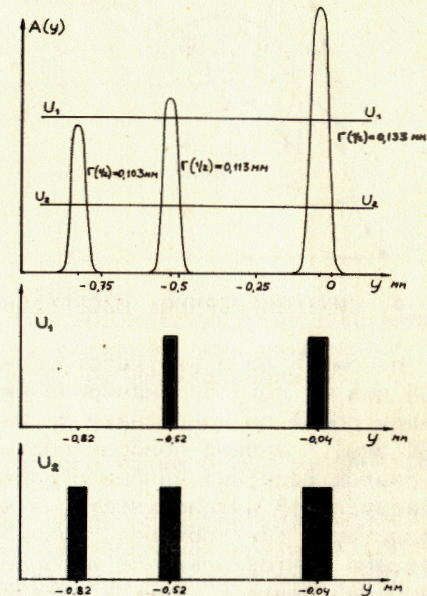


Рис.6. Расчетные значения видеосигналов для поля зрения фурье-микроскопа, равного 0,3 мм.

рованы 14 пиков или в среднем 2 следа заданной ориентации на длине 1 мм. Это означает, что среднее расстояние между соседними следами частиц примерно равно полной ширине видеосигнала на полувысоте, а вероятность наложения двух следов достаточно велика. Чтобы улучшить условия просмотра ядерной фотоэмульсии, необходимо уменьшить диаметр поля зрения фурье-микроскопа по крайней мере в 5 раз.

На рис.6 приведены кривые видеосигналов  $A(y)$ , пересчитанные по данным рис.3 и 4 на диаметр поля зрения фурье-микроскопа, равный 0,3 мм, а также показаны формы дискриминированных видеосигналов при двух различных порогах дискриминации. Ожидаемое значение обратной крутизны кривой  $A(y)$  в этих условиях равно 0,3 мкм/дел.

На рис.7 даны синтезированные изображения проекций следов частиц, видеосигналы которых приведены на рис.5. Если следы частиц равномерно распределены по ориентациям своих проекций, то при полном числе независимых ориентаций  $N/2 = 171,5$  плотность сле-



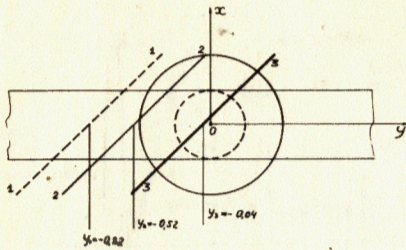
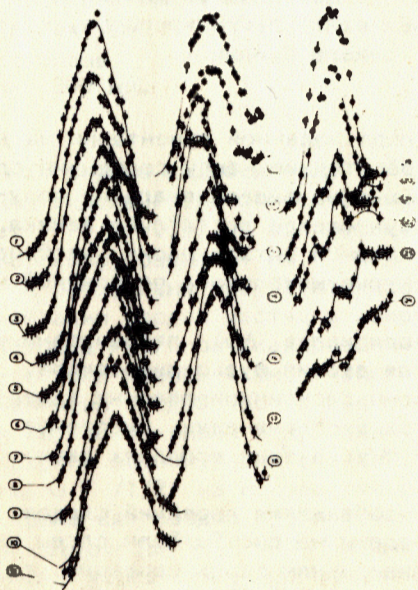


Рис.7. Синтезированное изображение проекции следов частиц, ориентированных под углом  $51,2^\circ$ .

дов частиц на  $1 \text{ мм}^2$  площади ядерной фотоэмульсии составляет около  $2 \cdot 172 \approx 340 \text{ сл./мм}^2$ .

#### 4. СИНТЕЗИРОВАННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТА

На рис.8 даны результаты измерения видеосигналов в световоде №99 для 24 полосок сканирования тест-объекта, перекрывающихся между собой по координате  $x$ . Шаг между центрами полосок равнялся  $150 \text{ мкм}$ , а ширина полосок составляла  $0,9 \text{ мм}$ . Каждый из 24 видеосигналов содержит данные о центре тяжести видеосигнала  $y_0$ , о его максимальной интенсивности, а номер световода /№99/ задает угол ориентации тест-объекта, равный  $-13,95^\circ$ . По этим данным было построено синтезированное изображение тест-объекта /рис.9/. Разброс значений центров тяжести видеосигнала относительно истинного положения тест-объекта составляет около  $\pm 25 \text{ мкм}$  и примерно в два раза больше оценки погрешности измерений, приведенной в таблице.



Результаты, приведенные на рис.8 и рис.9, указывают на то, что в процессе прогрева аппаратуры, которое имело место при  $x \approx 1,8 \text{ мм}$ , наблюдаются искаженные данные. На рис.9 они изображены точками. После прогрева аппаратуры в течение 1 ч искажения исчезают. Данные рис.9 указывают на то, что аппаратура также имеет долговременный дрейф в течение времени измерений более 10 ч. Однако это не может отразиться на точности измерений центра тяжести видеосигналов прямых треков, так как

Рис.8. Результаты измерения видеосигналов от тест-объекта для 24 полосок сканирования.

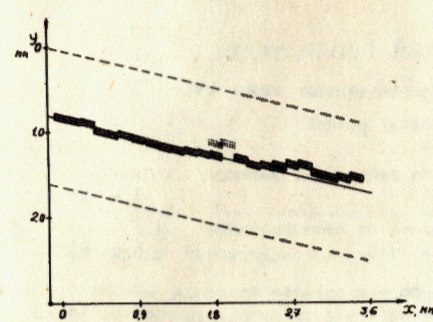


Рис.9. Синтезированное изображение тест-объекта, построенное по данным рис.8.

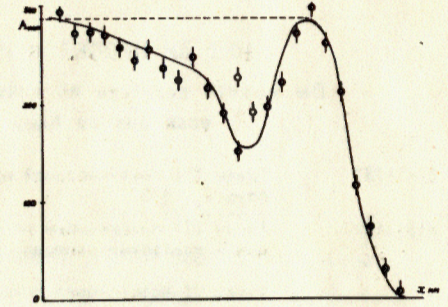


Рис.10. Максимальная амплитуда видеосигнала для различных полосок сканирования.

в автоматизированном режиме обмер одного трека будет выполняться за время менее 1 мин.

На рис.10 приведены значения максимальной амплитуды видеосигнала в различных полосках сканирования. Обратная крутизна кривой  $A_N(x)$  в конце тест-объекта, показанной в правой части рис.10, равна обратной крутизне кривой  $A_N(y)$ , измеренной в тех же условиях для того же тест-объекта /см. рис.4/.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сороко Л.М. ОИЯИ, Б1-13-81-229, Дубна, 1981.
2. Люков В.В., Сороко Л.М. ОИЯИ, Б1-13-81-312, Дубна, 1981.
3. Сороко Л.М. ОИЯИ, Б1-10-82-808, Дубна, 1982.
4. Сороко Л.М. Гильберт-оптика, М., "Наука", 1981, с. 95.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 февраля 1983 года.



### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Астахов А.Я., Сороко Л.М. P13-83-120  
Метрические характеристики фурье-микроскопа для ядерной фотоэмульсии

Описаны условия измерений с целью определения метрических характеристик фурье-микроскопа для ядерной фотоэмульсии, измеренные для тест-объекта и для "сплошных" следов частиц. Приведены результаты этих измерений. Впервые в технике физического эксперимента авторы построили синтезированное изображение проекции тест-объекта на плоскость, перпендикулярную пучку света, минуя операцию формирования изображения следа частицы, операцию наводки по глубине, а также операцию сканирования элементов следа частицы. Проведена оценка плотности прямых следов частиц на единицу площади ядерной фотоэмульсии.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Astakhov A.Ya., Soroko L.M. P13-83-120  
Metric Characteristics of the Fourier-Transform Microscope for Nuclear Emulsion

The conditions of experiments on estimating the performances of the Fourier-transform microscope for nuclear emulsion for test-object and for "continuous" particle tracks, and the results of these experiments are described. The synthetic image of the projection of the test-object on the plane which is perpendicular to the light beam, has been plotted for the first time in the experimental physical technique. This is done by eliminating the stage of producing the track particle image, the stage of image focusing and that one of scanning particle track elements. The estimate of density of straight particle tracks in nuclear emulsion per unit area is presented.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.