

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**A 91**

**P10-87-275**

**А.Я.Астахов, Д.Бенце, Я.Вег, А.Кишваради,  
Г.Нитраи, Л.М.Сороко**

**ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА  
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
МЕЗООПТИЧЕСКОГО ФУРЬЕ-МИКРОСКОПА  
ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ**

**1987**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Конструкция и принцип действия мезооптического фурье-микроскопа /МФМ/ для ядерной фотоэмульсии описаны в /1/. Связь между расположением прямых следов частиц в пространстве и мезооптическими сигналами на выходе МФМ дана в /2/. В работе /3/ приведены результаты полуавтоматических измерений прямых следов частиц при помощи МФМ с разрешением по радиальной координате около 60 мкм. В /4/ было показано, что высококачественное мезооптическое зеркало, изготовленное из металла методом прецизионного алмазного точения, образует мезооптическое кольцо шириной 1,5 мкм. Расчеты геометрических aberrаций в меридиональном сечении мезооптического зеркала МФМ, проведенные в /5/, подтвердили, что каустическое размытие мезооптического изображения прямого следа частицы в МФМ составляет не более 1 мкм в пределах рабочего участка в виде квадрата в меридиональном сечении размером 0,4x0,4 мм.

В настоящей работе описаны электронная аппаратура и программное обеспечение, которые были использованы в экспериментах на МФМ с автоматической записью сигналов от прямых следов частиц с минимальной ионизацией. Рассмотрены структура информации на выходе МФМ о положении прямого следа частицы в пространстве и алгоритм съема указанной информации. Описаны устройства для перемещения кареток МФМ и для поворота платформы оптического интерфейса МФМ. Приведены дополнения к библиотеке стандартных программ языка Фокал-71, которые использовались в экспериментах, а также программа обработки мезооптических изображений прямых следов частиц.

## 2. СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИИ НА ВЫХОДЕ МФМ

Информация о положении прямого следа частицы в пространстве состоит из следующих данных: а/ декартовых координат центров тяжести двух мезооптических изображений /левого и правого/ в системе координат, привязанной к матрице прибора с зарядовой связью /ПЗС/; б/ декартовых координат X и Y положения кареток МФМ; в/ угла ориентации платформы оптического интерфейса МФМ относительно отсчетного значения. В описываемых экспериментах использовался одноплечный оптический интерфейс. Поэтому изме-

рение двух мезооптических изображений прямого следа ведут последовательно. Сначала обмеряют левое, а затем, после поворота платформы оптического интерфейса на угол  $180^\circ$ , правое мезооптическое изображение. Кроме указанной выше координатной информации, мы фиксировали также площадь светлого пятна и длину мезооптического изображения вдоль угловой координаты, которые выражались в числе ячеек матрицы ПЭС. Положение центра светлого пятна, его длина и площадь определялись программным путем. Процесс перемещения кареток МФМ с выводом заданной точки ядерной фотоэмульсии на оптическую ось МФМ проводился также программным путем. Электронное устройство для перемещения кареток обеспечивало точность выведения  $\pm 2,5$  мкм.

### 3. ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА

На рис. 1 приведена блок-схема электронной аппаратуры МФМ. В описываемой серии экспериментов была использована ЭВМ ТРА-1/6/ с памятью 16К 12-разрядных слов, дисплей УТ-340 и устройство ввода программ с перфоленты. В крейте КАМАК, подключенном к ЭВМ при помощи контроллера КК типа САМ 1.02, располагалась электронная аппаратура управления перемещением кареток, съема и накопления данных с выхода МФМ. Каждая из двух измерительных кареток  $X, Y$  оснащена датчиком положения  $\Delta P_{X, Y}$  с ценой отсчета 2,5 мкм, приводным двигателем постоянного тока  $\Delta D_{X, Y}$ , блоком регистрации координат  $\Delta БРК_{X, Y}$ , блоком привода  $\Delta ВП_{X, Y}$  и выносным пультом  $\Delta ВП_{X, Y}$ . Платформа оптического интерфейса, на котором расположена матрица ПЭС, оснащена датчиком угла поворота платформы  $\theta$   $\Delta П_{\theta}$  с ценой отсчета  $5,4^\circ$ , приводным двигателем постоянного тока  $\Delta D_{\theta}$ , блоком регистрации угла поворота  $\Delta БРК_{\theta}$ , блоком привода  $\Delta ВП_{\theta}$  и выносным пультом  $\Delta ВП_{\theta}$ .

Изображение с матрицы ПЭС, содержащей 232 ячейки в каждой из 144 строк, передают в ЭВМ в закодированном виде с использованием двух уровней квантования. В память ЭВМ поступают координаты тех ячеек строк, где происходит переход с одно-

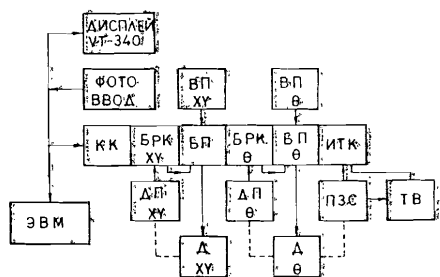


Рис. 1. Блок-схема электронной аппаратуры мезооптического фурье-микроскопа /МФМ/ для ядерной фотоэмульсии.

го уровня квантования на другой. Предусмотрены два режима передачи данных в ЭВМ в зависимости от положения переключателя на передней панели электронного интерфейса телевизионной камеры /ИТК/. В первом режиме запись ведут непосредственно в память ЭВМ по программному каналу в формате:

$N_{стр}, N_1, K_1, N_2, \dots, K_5, N_{стр}, \dots, МК, /1/$

где  $N_{стр}$  - код номера строки,  $N, K$  - координаты начала и конца изображения в строке. МК - код признака конца массива. Работа блока ИТК в этом режиме описана в <sup>19/</sup>. Во втором режиме используется промежуточный блок памяти объемом 2К байт в ИТК.

Для реализации второго режима работы в блок ИТК введены дополнительно следующие команды:

- F(2).N.A(0) - чтение байта из промежуточной памяти в ЭВМ;
- F(8).N.A(0) - проверка запроса L, который вырабатывается при записи информации в промежуточную память и удерживается до тех пор, пока не будут считаны все данные,  $Q = L$ ;
- F(10).N.A(0) - сброс запроса L;
- F(16).N.A(0) - запись байта в промежуточную память с магистральной КАМАК /шины W1-W8/;
- F(17).N.A(0) - имитация сигнала "конец кадра";
- F(24).N.A(0) - запрет записи в промежуточную память;
- F(25).N.A(0) - установка запроса L;
- F(26).N.A(0) - разрешение записи в промежуточную память.

Массив данных записывается в промежуточной памяти в следующем формате:

$ПС_{стр}, N_{стр}, N_1, K_1, \dots, K_5, ПС_{стр}, \dots, ПК, /2/$

где  $ПС_{стр}$  - признаки строки,  $N_{стр}$  - код номера строки,  $N_i, K_i$  - координаты начала и конца изображений в строке,  $i = 1, \dots, 5$ ; ПК - признак конца кадра.

### 4. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КАРЕТОК И ПОВОРОТА ПЛАТФОРМЫ ОПТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА МФМ

Для поступательного перемещения кареток  $X, Y$  вместе с ядерной фотоэмульсией и для поворота платформы оптического интерфейса МФМ было разработано специальное электронное устройство, блок-схема которого приведена на рис. 2. Оно содержит следующие элементы: задатчик 1, ПЗУ 2, одновибратор 3, реверсивные счетчики 4 и 14, счетчик 5, триггер 6, элемент "И" 7, блок импульсов интервала 8, группа элементов "И" 9, элемент задержки 10, исполнительный элемент 11, датчик положения 12, элементы "ИЛИ" 13, схема сравнения 15, элемент "И" 16.

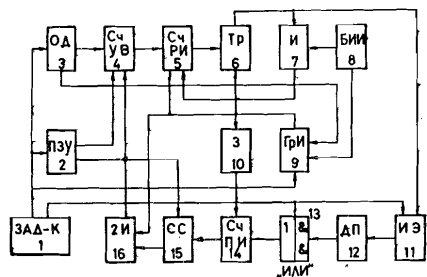


Рис.2. Блок-схема электронного устройства для перемещения кареток МФМ и для поворота платформы оптического интерфейса МФМ.

Задатчик 1 вырабатывает направление перемещения каретки и код скорости. Каждой скорости в задатчике 1 соответствует код управляющего воздействия и код приращения координаты за интервал регулирования, которые хранятся в ПЗУ 2. Одновибратор 3 вырабатывает импульс, при помощи которого код управляющего воздействия принимается в реверсивный счетчик 4. Последний формирует код управляющего воздействия для очередного интервала регулирования. В счетчике 5 код управляющего воздействия преобразуется в ширину рабочего импульса на время текущего интервала регулирования.

Блок импульсов интервала 8 состоит из генератора импульсов постоянной частоты, схемы деления частоты и формирователей импульсов интервала регулирования. Исполнительный элемент 11 состоит из двигателя постоянного тока, силовой мостовой схемы, источника питания, при этом двигатель связан кинематически с датчиком положения 12. Последний имеет две выходные шины. На одной шине импульсы вырабатываются при прямом движении, а на другой - при обратном.

В реверсивном счетчике 14 формируется величина перемещения каретки за интервал регулирования с учетом направления перемещения. В схеме сравнения 15 происходит сравнение кода, соответствующего заданному приращению координат каретки и находящегося на шинах ПЗУ 2, с кодом в реверсивном счетчике 14.

Электронное устройство для перемещения кареток работает следующим образом. При помощи задатчика 1 задают направления и код скорости перемещения каретки. Сигнал направления перемещения каретки подготавливает соответствующие цепи в силовой мостовой схеме исполнительного элемента 11, а сигнал кода скорости перемещения каретки производит в ПЗУ 2 выборку кода управляющего воздействия, который поступает на вход реверсивного счетчика 4, и кода приращения координат за интервал регулирования, который поступает на схему сравнения 15. В момент задания скорости перемещения каретки одновибратор 3 вырабатывает импульс, по которому код управляющего воздействия принимается в реверсивный счетчик 4. Если импульс интервала регулирования не совпадает с импульсом одновибратора 3, то на выходе группы элементов "И" 9 вырабатывается импульс, который устанавливает триггер 6 в единичное состояние, разрешает прием кода из ревер-

сивного счетчика 4 в счетчик 5 и через элемент задержки 10 производит сброс реверсивного счетчика 14. Сигнал с триггера 6 открывает плечо силовой мостовой схемы исполнительного элемента 11, подготовленное сигналом направления движения каретки. На двигатель исполнительного элемента 11 поступает рабочий импульс и каретка приходит в движение. Одновременно сигнал с триггера 6 открывает элемент "И" 7 и импульсы с генератора постоянной частоты блока 8 поступают на вычитающий вход счетчика 5. Импульсы с датчика положения 12 поступают на один из входов реверсивного счетчика 14 отсчетов за интервал регулирования. На суммирующий вход реверсивного счетчика 14 импульсы поступают только тогда, когда знак импульса перемещений совпадает с заданным направлением. В противном случае импульсы поступают на вычитающий вход реверсивного счетчика 14. Элементы "2И-ИЛИ" 13 выполняют роль коммутатора импульсов перемещения. В момент перехода счетчика 5 через нулевое положение триггер 6 сбрасывается. Рабочий импульс снимается с двигателя. Код в реверсивном счетчике 14 отсчетов за интервал регулирования постоянно сравнивается с заданным кодом в схеме сравнения 15. Если в момент поступления импульса интервала регулирования коды на выходах схемы сравнения 15 равны, то длительность рабочего импульса не изменяется. Если же код в реверсивном счетчике 14 меньше заданного, то содержимое реверсивного счетчика 4 увеличивается на единицу выходным сигналом с элемента "И" 16. Поэтому в следующий интервал регулирования длительность рабочего импульса будет увеличена на один такт генератора импульсов постоянной частоты блока 8. Если код в реверсивном счетчике 14 больше заданного, то содержимое реверсивного счетчика 4 уменьшается на единицу. В следующий интервал регулирования длительность рабочего импульса будет уменьшена на один тактовый период.

Сущность нового алгоритма управления приводными двигателями состоит в том, что рабочий импульс двигателя образуется путем алгебраического сложения сигнала в предыдущем интервале регулирования с нормированным сигналом рассогласования.

Каретки МФМ имеют семь скоростей перемещения и реверс движения. Каждая каретка оснащена 5-разрядным регистром, три разряда в котором отведены для кода скорости перемещения и два - для направления движения. Ввод информации в регистр ведут при помощи команды F(16) через магистраль КАМАК или кнопкой выночного пульта. Таким образом, данный регистр выполняет функцию задатчика скорости и направления перемещения кареток. Аналогично устроена и функционирует система управления поворотом платформы оптического интерфейса МФМ. Описанное выше электронное устройство для перемещения кареток и поворота платформы опти-

ческого интерфейса позволяет выводить каретки в заданную точку ядерной фотоэмульсии с точностью  $\pm 2,5$  мкм.

## 5. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программное обеспечение МФМ позволяет вести диалоговый режим работы, обладает достаточной универсальностью и дает высокое быстродействие. Оно построено на стандартном для ЭВМ ТРА-1 диалоговом языке Фокал-71<sup>/10/</sup>. Программы, которые дополняют библиотеку стандартных функций Фокал-71, написаны на ассемблере. Операции управления узлами МФМ и первичную обработку данных осуществляют с помощью следующих команд Фокала:

5.1. FXTB(DX), FYTB(DY), и FFI(D0) - перемещение кареток X и Y, а также поворот платформы оптического интерфейса на заданное число единиц отсчета углового датчика.

5.2. FRTV(N) - запись в память ЭВМ содержимого промежуточной памяти интерфейса телевизионной камеры, где N - адрес, с которого начинается запись изображения. Эта команда также подсчитывает число переписанных машинных слов.

5.3. FCNV(N, NA) - преобразование данных, считанных с телевизионной камеры, содержащей матрицу ПЗС, в форму с плавающей запятой. Эта команда выполняет последовательное, начиная с адреса N, преобразование кодов и запись их в память ЭВМ, начиная с адреса NA. Количество указанных преобразований определяется командой FRTV.

5.4. FCMC - выполнение стандартных операций КАМАК. Команда FCMC(C, N, A, F) выполняет операцию F в блоке КАМАК, который задается кодом CNA. Если F - команда записи, то исходная команда задается в виде FCMC(C, N, A, F, AC), где AC - записываемый код. Если CNA заданы ранее, то до изменения этих кодов достаточно задать только F и AC.

5.5. FDSP - вывод графических изображений на черно-белый монитор, который подключен к ЭВМ ТРА-1 через интерфейс PE10-F<sup>/10/</sup>. Изображение на мониторе состоит из 240x180 элементов. Для хранения изображения в памяти ЭВМ выделено 3600 слов. Приведем некоторые примеры использования команды FDSP:

FDSP(-1) - стирание изображения путем записи нулей во всех ячейках памяти ЭВМ, выделенной для хранения изображения на мониторе;

FDSP(-2) - инверсия изображения путем замены 0 на 1 или 1 на 0 во всех ячейках памяти изображения;

FDSP(X,Y,1) - подсветка элемента с координатами X, Y;

FDSP(X,Y,0) - гашение элемента с координатами X, Y;

FDSP(X,Y,-1) - инверсия элемента с координатами X, Y.

5.6. FCNK - проверка или изменение содержимого любой ячейки памяти ЭВМ. Например, команда FCNK(AD, C) выполняет запись кода C в ячейку AD.

5.7. FUSR(AD, [ ]) - выполнение подпрограмм, написанных на автокоде, с последующим возвращением в Фокал. AD - адрес начала подпрограммы, а при необходимости дополнительные параметры должны быть заданы в поле [ ]. Так, например, изображение, считанное с интерфейса телевизионной камеры, для визуального контроля может быть выведено на монитор при помощи подпрограммы TVDSP, которая написана на ассемблере. Активизацию подпрограммы производят командой FUSR.

Поиск прямых следов частиц на заданном участке ядерной фотоэмульсии в заданном интервале углов ориентаций и анализ мезооптических изображений состоит из следующих операций:

а/ вывод X и Y кареток в заданную область ядерной фотоэмульсии при помощи команд FXTB и FYTB;

б/ установка считывающей матрицы ПЗС в заданный угол ориентации при помощи команды FFI;

в/ ввод в память ЭВМ телевизионного изображения мезооптических сигналов при помощи команды FRTV и отображения его на мониторе;

г/ оценка числа следов частиц в изображении, вычисление центра тяжести, площади и длины мезооптического сигнала;

д/ запись данных о прямых следах частиц в виде сводной таблицы с указанием номера следа частицы, координат кареток и угла ориентации оптического интерфейса, координат центра тяжести мезооптического сигнала, его площади, а также его длины вдоль угловой координаты.

Рассмотрим более подробно процесс анализа телевизионного изображения /операция "г"/. Из массива данных /1/ или /2/, состоящего из элементов строки матрицы мезооптических изображений прямых следов частиц, выделяют те элементы, которые имеют общие точки на двух соседних строках. Таким образом находят связанные объекты, каждый из которых указывает на существование следа частицы.

Анализ данных из массива производят последовательно. Сначала обрабатывают элементы двух соседних строк, для выявленных связанных объектов вычисляют их площади, центры тяжести и другие характеристики, которые выражают числом элементов матрицы. Затем переходят к элементам следующей строки и т.д. После того, как проанализирован последний элемент последней строки, все выходные характеристики прямых следов частиц, находящихся в данном кадре, находятся в памяти ЭВМ.

## 6. ВЫВОДЫ

Описанные выше электронное оборудование и программное обеспечение мезооптического фурье-микроскопа /МФМ/ для ядерной фотоэмульсии позволяют выделять следы частиц, идти вдоль заданного следа частицы, фиксировать конец /или начало/ прямого следа частицы и сопоставлять мезооптические сигналы с различной степенью почернения. Оценивая первый опыт работы автоматизированной системы МФМ + ЭВМ, следует подчеркнуть, что формирование выходной информации о прямых следах частиц в МФМ идет одновременно с процессом распознавания следов частиц в ядерной фотоэмульсии и процессом сжатия полезной информации. Благодаря этим фундаментальным свойствам МФМ и диалоговому режиму работы всей системы в целом нам удалось проверить функционирование системы при помощи весьма скромной по возможностям ЭВМ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, P13-83-119, Дубна, 1983.
2. Бенце Д., Сороко Л.М. ОИЯИ, P13-85-137, Дубна, 1985.
3. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, P13-85-378, Дубна, 1985.
4. Бенце Д. и др. ОИЯИ, P13-86-630, Дубна, 1986.
5. Бенце Д., Сороко Л.М. ОИЯИ, P13-86-659, Дубна, 1986.
6. Малая электронная вычислительная машина TPA-i 1001, KFKI, 72-7322, Budapest, 1972.
7. 1001 TPA-i/SAMAC crate controller CAM 1.02, KFKI, 73-8219, Budapest, 1973.
8. Астахов А.Я. ОИЯИ, 10-10135, Дубна, 1976.
9. Астахов А.Я., Комов Г.М., ОИЯИ, P10-80-227, Дубна, 1980.
10. FOKAL USER MANUAL TPA-1Y-10-MA, KFKI, 1974.
11. PE 10-F raster display and PE 10-K optional unit, KFKI, Budapest, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 апреля 1987 года.

Астахов А.Я. и др.  
P10-87-275  
Электронная аппаратура и программное обеспечение  
мезооптического фурье-микроскопа для ядерной фотоэмульсии

Описаны электронная аппаратура и программное обеспечение, которые были использованы в экспериментах на мезооптическом фурье-микроскопе /МФМ/ для ядерной фотоэмульсии с автоматической записью сигналов от прямых следов частиц с минимальной ионизацией. Рассмотрены структура информации на выходе МФМ о геометрическом положении прямого следа частицы и алгоритм съема указанной информации. Описаны устройства для перемещения кареток МФМ и для поворота платформы оптического интерфейса МФМ. Приведены дополнения к библиотеке стандартных программ языка Фокал-71, которые использовались в экспериментах, а также программа обработки мезооптических изображений прямых следов частиц.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории  
вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Astakhov A.Ya. et al.  
P10-87-275  
Electronic Part and Software of the Mesooptical  
Fourier-Transform Microscope for Nuclear Emulsion

The electronic part of the Mesooptical Fourier-Transform Microscope (MFTM) and the software for the automatic recording of the straight line particle tracks of minimum ionization in nuclear emulsion are described. The features of the data at the output of the MFTM depending on the geometrical position of a straight line particle track and the algorithm of the read-out of this data are given. The units moving the carriages and rotating the platform of the optical interface of the MFTM are described. The programming supplements to the standard subroutines of the language FOKAL'71 used in these experiments as well as the routine programme used for the evaluation of the mesooptical images of straight line particle tracks are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, and Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987