

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

75-137

На правах рукописи

Баранов Владимир Иванович

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ  
И "ЛОЖНОЕ РАССЕЯНИЕ" В ЭМУЛЬСИОННЫХ КАМЕРАХ,  
ОБРАБОТАННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Специальность 05.11.10 – приборы для измерения  
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г. Серпухов).  
Научный руководитель - доктор физико-математических наук  
В.А. Ямба.

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук  
Г.Б. Жданов, кандидат физико-математических наук Б.А. Шахбазян.

Ведущее предприятие - Институт физики высоких энергий Казах-  
ской ССР, Алма-Ата.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1975 г.

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 197 г.  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании Учёного совета Лаборатории ядерных проблем  
ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного  
института ядерных исследований.

Учёный секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук  
Ю.А. Батусов

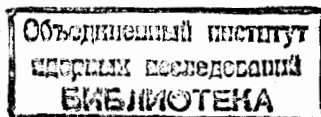
Баранов Владимир Иванович

**ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ  
И "ЛОЖНОЕ РАССЕЯНИЕ" В ЭМУЛЬСИОННЫХ КАМЕРАХ,  
ОБРАБОТАННЫХ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность 05.11.10 – приборы для измерения  
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)



M-24

Наряду с современными методами исследования элементарных частиц (пузырьковые, искровые камеры и др.) в физике высоких энергий успешно используются более простые методы, хорошо зарекомендовавшие себя в ранних экспериментах. К ним прежде всего следует отнести метод ядерных фотоэмульсий. Наибольшее развитие фотоэмульсионный метод получил с введением в практику эмульсионных камер, т.е. блоков из отдельных эмульсионных слоев, связанных между собой системой координатных отметок. Точные количественные измерения характеристик следов частиц высоких энергий наталкиваются на ограничения, вытекающие из физико-механических особенностей толстослойных фотоматериалов. Прежде всего это относится к искажениям геометрической формы следов заряженных частиц в фотоэмульсии, вызванным деформациями эмульсионных слоев в процессе изготовления, обработки и т.д. Проблема исключения влияния искажений, особенно так называемого "ложного рассеяния", в эмульсионных камерах стала весьма актуальной при повышении энергии ускоренных частиц на современных ускорителях.

Хотя природа ложного рассеяния до сих пор является предметом исследований, тем не менее существуют различные методы исключения ложного рассеяния на индивидуальных следах частиц в ядерных эмульсиях. При этом отмечаются значительные флуктуации величины ложного рассеяния не только среди отдельных слоев эмульсионной камеры ("функция ка-

меры"), но даже и внутри слоя. Эти обстоятельства затрудняют поиск возможных причин возникновения и роста искажений в ядерных эмульсиях.

В диссертации рассматриваются причины возникновения искажений различных типов, особенно ложного рассеяния, в эмульсионных камерах, проявленных в производственных условиях. На большом статистическом и фактическом материале изучено влияние технологических особенностей процесса изготовления эмульсионных камер начиная от сборки и подготовки эмульсий к облучению и кончая операциями фотохимической обработки, на возникновение искажений в эмульсионных слоях камер<sup>/1-8/</sup>. Значительная часть измерений искажений (дисторсий) выполнена оригинальными растровыми методами<sup>/9-12/</sup>. Это позволило получить количественные данные об интегральном распределении дисторсий практически для любого слоя эмульсионной камеры.

Диссертация состоит из шести глав и введения. Первые две главы представляют собой обзор литературных данных по технике эмульсионных камер и методам измерений искажений. В III главе изложены принципы, положенные в основу фотографических растровых методов измерений характеристик пучковых следов заряженных частиц в ядерных эмульсиях. В IV главе дан подробный анализ влияния технологических процессов комплексной подготовки и обработки эмульсионных камер на возникновение различных видов дисторсий и ложного рассеяния. В V главе предложены методы изготовления специальной аппаратуры для массовой обработки больших эмульсионных камер. В VI главе изложены основные результаты работы.

Материалы диссертации доложены на Международной конференции по ядерной фотографии (Флоренция, Барселона, Бухарест), сессиях фотоэмульсионного комитета ОИЯИ (Дубна) и опубликованы в<sup>/1-20/</sup>.

# 1. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ РАСТРОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКОВЫХ СЛЕДОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭМУЛЬСИИ

Проявленный эмульсионный слой, предварительно облученный коллимированным потоком заряженных частиц высокой энергии, обнаруживает свойства, присущие трехмерным растровым системам с регулярным расположением растровых элементов, роль которых выполняют следы частиц в эмульсии. Растры подобного рода и их нерегулярность, вызванная местной кривизной составляющих элементов, могут быть обнаружены визуально по дифракционному эффекту интегрального характера. По типу ориентации растровых элементов эмульсионные растры удобно разделить на две категории: растры с нормальным расположением элементов (перпендикулярно к плоскости эмульсии) – растры I рода и растры с продольным расположением элементов – растры II рода. Можно указать несколько характерных методов прямых наблюдений эмульсионных растров.

1. Эффект дифракционных колец. Образование дифракционной картины на экране при освещении растра I рода когерентным светом.

2. Эффект отражения. Образование визуального эффекта из-за рассеяния света элементами растра внутри эмульсионного слоя. В том числе интегральные эффекты на растрах I рода:

- а) при освещении направленным светом;
- б) при освещении диффузным светом;
- в) при освещении несколькими или полихроматическими источниками света.

3. Эффект "лунной дорожки". Образование дифракционной картины в эмульсии при освещении растра II рода проходящим светом от протяженного источника.

Особенностями эмульсионных растровых систем являются: высокая светосила, близкая к единице для растров I рода; значительная угловая

анизотропия растровых элементов; малая нижняя граница наблюдения дифракционного эффекта.

Рассмотрим особенности "эффекта отражения", наиболее пригодного для измерений дисторсий в ядерных эмульсиях.

Эффект вызван рассеянием (отражением) света элементами растра под определенным углом по отношению к наблюдателю и источнику света. Визуальный эффект для однородного растра с высокой угловой анизотропией наблюдается как равномерное свечение всей поверхности эмульсии, занятой растром. Нарушения регулярности растра, вызванные местными деформациями эмульсии, обнаруживаются визуально по признаку отсутствия свечения растра в соответствующих участках эмульсии. Величина деформации эмульсии  $\Delta \gamma = \gamma_0 - \gamma_x$ , где  $\gamma_0$  - начальный угол облучения эмульсии;  $\gamma_x$  - угол наклона тестовых следов из-за деформации эмульсии. Угол  $\gamma_x$  определяется углом поворота эмульсионной пластинки ( $\beta_x$ ), необходимым для восстановления визуального эффекта в данном участке. Между  $\gamma$  и  $\beta$  при постоянных условиях наблюдения ( $a = \text{const}$ ) существует зависимость  $\gamma = (\pi - \frac{a}{2}) - \beta$ , позволяющая градуировать лимб измерительного устройства непосредственно в значениях угла кривизны  $\gamma_x$ .

Схема возникновения эффекта отражения и некоторые точностные характеристики растрового метода показаны на рис. 1-2. Достаточно указать, что сдвигу точки наблюдения на 1 мм (при базе наблюдения 300-500 мм) соответствует линейный сдвиг тестовых следов в эмульсии величиной около 0,2-0,3 мкм или дисторсии в несколько ковансов. При количественных измерениях в реальных условиях необходимы пространственные угловые поправки. Для этого достаточно измерить углы  $\gamma$  в двух взаимно перпендикулярных положениях пластинки, т.е. в сущности проекционные углы  $\gamma_x$  и  $\gamma_y$ . Между углами  $\gamma$ ,  $\gamma_x$ ,  $\gamma_y$  и  $\gamma_z$  установлены следующие соотношения:

$$\text{tg } \gamma = \frac{\text{tg } \gamma_x \text{ tg } \gamma_y}{\sqrt{\text{tg}^2 \gamma_x + \text{tg}^2 \gamma_y}} ; \quad \text{tg } \gamma_z = \text{tg } \gamma_x / \text{tg } \gamma_y .$$



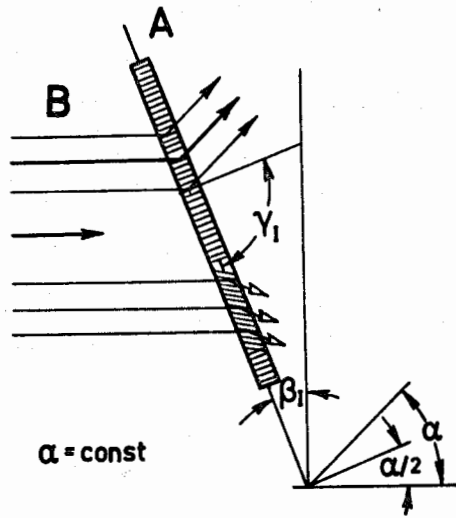


Рис. 1. Схема образования эффекта отражения от элементов раstra в эмульсионном слое. А - эмульс. слой; В - поток света;  $\alpha$  - угол рассматривания;  $\beta$  - угол поворота до возникновения эффекта;  $\gamma$  - угол облучения эмульсии.

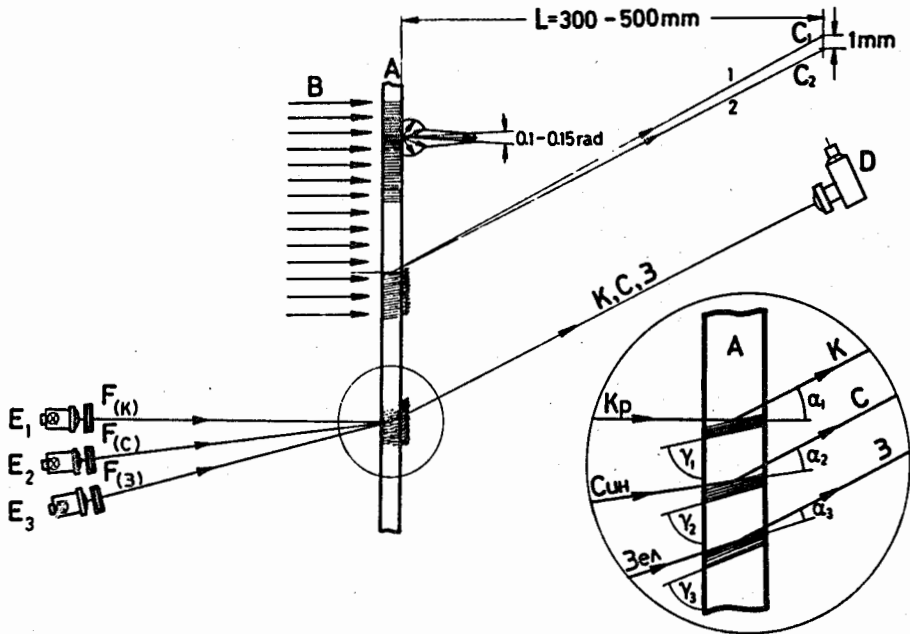


Рис. 2. К оценке разрешающей способности эмульсионного раstra и схема образования многофазного эффекта. С - точка наблюдения; D - фотокамера; E - источник света; F - светофильтр. Остальное - по рис. 1.

Если в процессе измерения углов  $\gamma$  произвести смену системы координат таким образом, чтобы  $\gamma_x = \pi/2$  рад., тогда из выше приведенных соотношений  $\gamma = \gamma_y$ . При этом неизбежные азимутальные поправки исключаются. В настоящей работе для проведения угловых измерений использован угломерный столик с 4-5 осями вращения.

Нерегулярность эмульсионного растра, вызванная искажениями различного типа, наблюдается визуально и может быть сфотографирована обычными методами (рис. 3-4). Интегральный характер наблюдаемого эффекта позволяет оценить степень неоднородности (нерегулярность) растра по всей пластинке одновременно. Используя в угломерном устройстве несколько источников света (рис. 2), расположенных под определенными углами к основной оси, можно наблюдать одновременно несколько фаз визуального эффекта при фиксированном положении пластинки. Введение цветных светофильтров в оптическую систему позволяет выполнить многоцветное разделение фаз эффекта.

В диссертации растровая методика использовалась для определения оптимальных рабочих участков для измерений многократного рассеяния, для количественной характеристики дисторсий, для экспресс-контроля параметров облучения эмульсионных камер и др. В работе приведены многочисленные примеры, характеризующие различные типы искажений, а также показаны некоторые виды дисторсий, не наблюдавшиеся ранее.

## II. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ И ОБРАБОТКИ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАМЕР, ВЛИЯЮЩИХ НА ОБРАЗОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ В ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

К эмульсионным материалам как к носителям сложной информации предъявляются серьезные требования в отношении искажений. Деформации эмульсионных слоев независимо от причин приводят к стойким нарушениям однородности структуры желатинового каркаса эмульсии и возникнове-

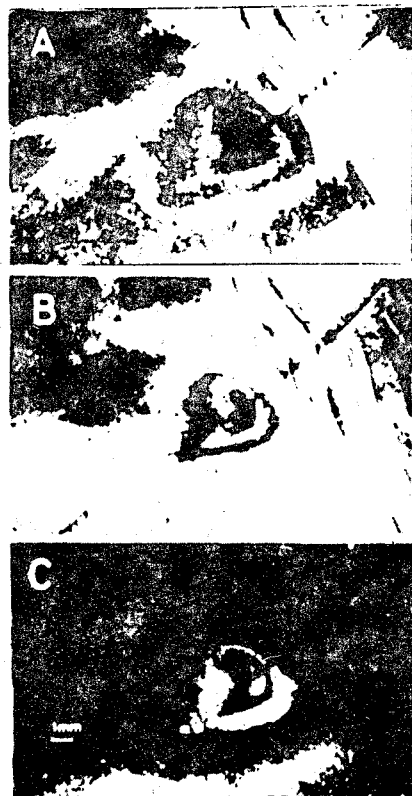


Рис. 3. Визуальный эффект отражения для дисторсий типа "дифференциальный сдвиг". Интервал измерений  $\Delta\beta = 15$  мрад.

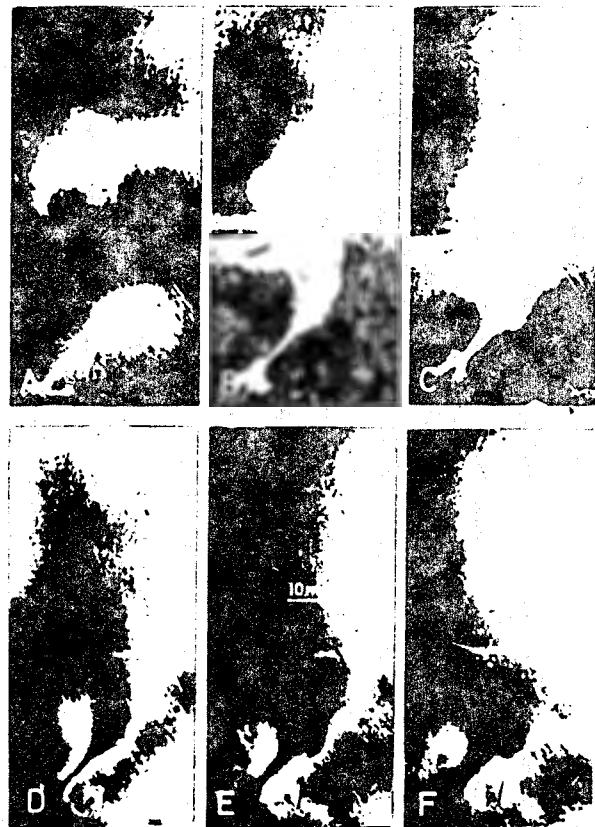


Рис. 4. Фазы эффекта отражения с интервалом  $\Delta\beta = 17$  мрад. Топография искажений показана на рис. 5.

нию искажений в эмульсионных слоях. Изучение причин, вызывающих искажения геометрической формы следов частиц в эмульсии (особенно это относится к микроискажениям типа ложного рассеяния), является основной задачей диссертации. Методика экспериментов предусматривала наряду с измерениями дисторсий и ложного рассеяния известными методами также использование оригинальных растровых методов. Детальные измерения микродисторсий вместе с топографией дисторсий по площади показали, что ложное рассеяние вызывается не независимой переориентацией микроучастков эмульсионного слоя, а конкретной деформацией эмульсии, локальными смещениями эмульсионных участков и другими деформациями, часто механического происхождения. Характер ложного рассеяния описать конкретной моделью, по-видимому, невозможно, так как деформации в эмульсии (и вызванные ими искажения) имеют аperiодический характер и являются нестационарными. Привлечение растровых методов интегральной оценки дисторсий по площади позволило исключить случайные факторы и получить стабильные сравнимые результаты при измерениях многократного рассеяния.

Комплекс подготовительных операций, предшествующих облучению камеры, может быть одним из важных факторов, вызывающих искажения в эмульсии. Особенное значение при этом имеют физико-механические свойства эмульсионных слоев, используемых для сборки камер. Распространенным типом дисторсии, вызванной макрокривизной поверхности эмульсии, являются искажения (искривления) следов частиц после наклеивания эмульсий с дефектами поверхности. Подобного рода искажения ("псевдодисторсии") легко идентифицируются растровой методикой. При этом могут быть установлены величина и границы распространения "псевдодисторсий" как для отдельных слоев, так и для всей эмульсионной камеры. В табл. 1 приведены данные измерений ложного рассеяния для различных эмульсионных материалов. Очевидно, что эмульсионные материалы, не изменяющие формы поверхности в момент облучения, имеют минимальные искажения.

Т а б л и ц а 1

| Характер<br>поверхности эмульсий                        | Ложн. рассеяние |                 |                 |                 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|   | 0,5 мм          | 1,0 мм          | 2,0 мм          | 4,0 мм          |
| Обычного типа из стандарт-<br>ной камеры                | 0,115<br>±0,001 | 0,136<br>±0,003 | 0,235<br>±0,007 | 0,540<br>±0,03  |
| То же с тщательным отбо-<br>ром эмульсии по поверхности | 0,056<br>±0,001 | 0,100<br>±0,002 | 0,128<br>±0,003 | 0,293<br>±0,011 |
| То же, наклеенные на стек-<br>ло до облучения           | 0,081<br>±0,001 | 0,069<br>±0,002 | 0,094<br>±0,003 | 0,112<br>±0,005 |
| Фотопластинки   | 0,065<br>±0,001 | 0,089<br>±0,002 | 0,063<br>±0,002 | 0,129<br>±0,005 |

Отсюда вытекают требования к качеству поверхности эмульсионных слоев, используемых в эмульсионных камерах. Для массовой обработки больших эмульсионных объемов наиболее пригодны односторонние методы проявления, т.е. с доступом обрабатывающих растворов с одной стороны, при этом другая плоскость эмульсии предварительно приклеивается к подложке-стеклу. Важнейшую роль в односторонних методах обработки приобретают способы наклеивания слоев на подложку, исключая рост дополнительных микроискажений. Изменение продолжительности пребывания эмульсионных слоев в растворах ("мокрые" процессы), как показано в табл. 2, может привести к серьезным деформациям и росту искажений (табл. 3).

Т а б л и ц а 2

|   | Варианты проведения наклеивания |             |   |
|---|---------------------------------|-------------|---|
|   | стандартный                     | сокращенный | с искусствен-<br>ной задержкой<br>в растворах |
| Доля "мокрых" процес-<br>сов (в отношении к<br>стандартной наклейке). | 1,0                             | 0,55        | 1,75 - 1,80                                   |

Т а б л и ц а 3

| Вариант наклеивания | Ложн. рассеяние в |                 | мкм для ячеек  |                |
|---------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
|                     | 0,5 мм            | 1,0 мм          | 2,0 мм         | 4,0 мм         |
| Стандартный         | 0,102<br>±0,001   | 0,125<br>±0,002 | 0,105<br>±0,02 | 0,263<br>±0,04 |
| С "задержкой"       | 0,283<br>±0,003   | 0,668<br>±0,009 | 1,40<br>±0,20  | 2,85<br>±0,42  |

Возможность прямых измерений импульсов частиц высоких энергий ограничивается из-за растущих деформаций, вызванных аномалиями процедуры наклеивания. В табл. 4 приведены данные по экспериментальному определению величины  $P\beta c_{\text{макс}}$  для некоторых вариантов наклеивания, определенной как граница изменения  $P\beta c$  на данной ячейке при условии  $D/\epsilon = 2$ , где  $D$  - экспериментальные значения, а  $\epsilon$  получено из условия

$$\epsilon = (D^2 - D_{\text{кул}}^2)^{1/2}.$$

Т а б л и ц а 4

Средние значения  $P\beta c_{\text{макс}}$  для вариантов наклеивания (в ГэВ)

| Ячейка, мм | Метод проведения наклеивания |             |               |
|------------|------------------------------|-------------|---------------|
|            | стандартный                  | сокращенный | с "задержкой" |
| 0,5        | 2,2                          | 1,6         | 0,97          |
| 1,0        | 5,6                          | 3,5         | 1,3           |
| 2,0        | 21,0                         | 7,9         | 1,8           |
| 4,0        | 32,0                         | 11,0        | 2,5           |

В табл. 5 приведены экспериментальные данные измерений ложного рассеяния в эмульсионной камере, обработанной односторонним методом при оптимальных условиях наклеивания, а также сборки перед облучением, описанных выше.

Т а б л и ц а 5

| Вариант<br>наклеивания | Область просмотра        | Я ч е й к а, мм |                 |                 |
|------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                        |                          | 1,0             | 2,0             | 4,0             |
| Стандартный            | У подложки               | 0,159<br>±0,002 | 0,135<br>±0,003 | 0,322<br>±0,01  |
|                        | <u>Среднее для слоя:</u> | 0,097<br>±0,002 | 0,122<br>±0,003 | 0,258<br>±0,01  |
|                        | У подложки               | 0,106<br>±0,002 | 0,133<br>±0,003 | 0,110<br>±0,008 |
| Сокращенный            | <u>Среднее для слоя:</u> | 0,092<br>±0,002 | 0,117<br>±0,003 | 0,188<br>±0,008 |

Очевидный рост ложного рассеяния у подложки, вызванный набуханием эмульсии при наклеивании, заметно снижается при сокращенной технологии наклеивания.

Для сопоставления методов проявления ядерных эмульсий, наиболее известных в практике (одно- и двусторонний методы проявления), были поставлены эксперименты с эмульсионными слоями, частично наклеенными на стекло. По растровому эффекту отражения был установлен характер искажений в таких эмульсиях (рис. 4). На основе растровых измерений дисторсий построены топографические кривые ("изоклины"), соединяющие участки эмульсии с постоянными значениями угла кривизны тестовых следов  $\gamma_x$  (рис. 5). Измерения многократного рассеяния проводились для смешанных участков эмульсионного слоя (одно- и двусторонняя обработка, зона "В" и односторонняя обработка, зона "А" для контроля).

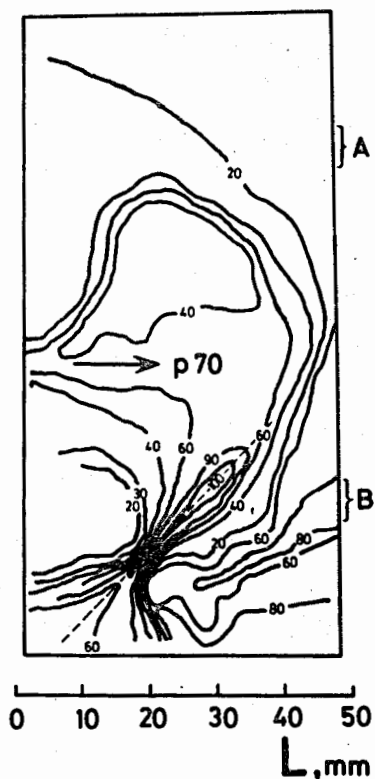


Рис. 5. Топография искажений по данным растровых измерений (рис. 4). Штриховой линией показана граница раздела двух методов обработки.

На рис. 6 показаны особенности измерения рассеяния в указанных зонах. Средние значения для ложного рассеяния в этих же участках эмульсии приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

| Зона измерения    | Я ч е й к а, мм |                |                 |                 |
|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
|                   | 0,5             | 1,0            | 2,0             | 4,0             |
| Контрольная ("А") | 0,081<br>±0,008 | 0,096<br>±0,01 | 0,170<br>±0,02  | 0,225<br>±0,028 |
| Рабочая ("В")     | 0,090<br>±0,007 | 0,199<br>±0,02 | 0,434<br>±0,065 | 1,22<br>±0,21   |



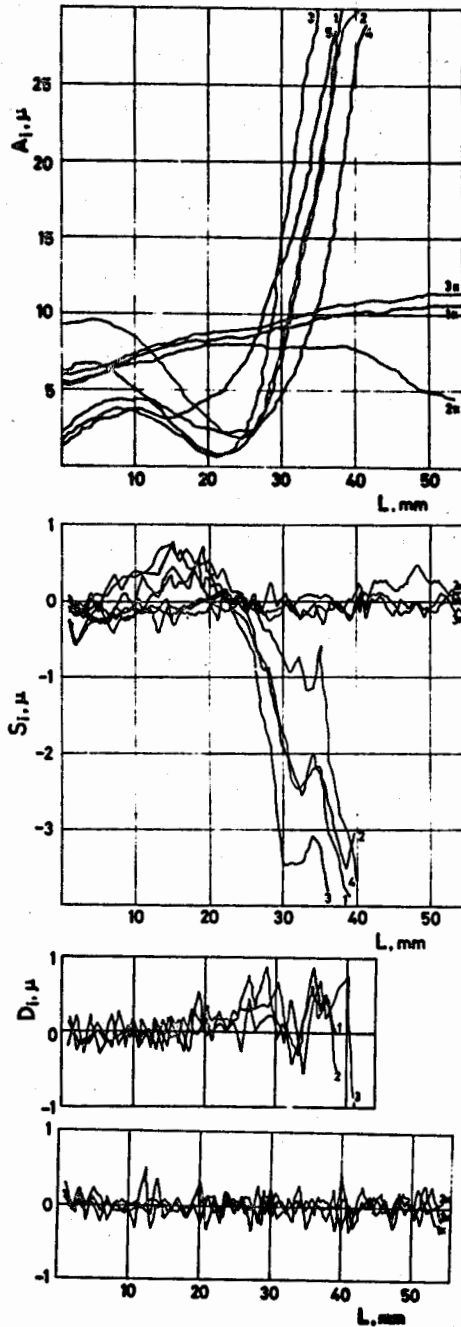


Рис. 6. Азимутальный профиль ( $A_i$ ), первые ( $S_i$ ) и вторые ( $D_i$ ) разности координат, измеренные на следах р 70 ГэВ в зонах "А" (следи 1к-3к) и "В" (следи 1-5) по рис. 5.

Рост ложного рассеяния в рабочей области измерений ("В") вызван влиянием искривления следов из-за обработки эмульсии в свободном состоянии, что подтверждается измерениями азимутального профиля следов и другими данными (рис. 4-6).

В работе рассматривались различные практические варианты проведения технологических операций одностороннего процесса обработки эмульсионных камер. Все эксперименты проводились одновременно с массовой обработкой эмульсионных камер в производственных условиях на специально разработанном оборудовании.

На рис. 7 показаны результаты измерений ложного рассеяния для шести основных вариантов обработки и шести типов ядерных эмульсий, облученных в пучках заряженных частиц с импульсом 10-70 ГэВ/с.

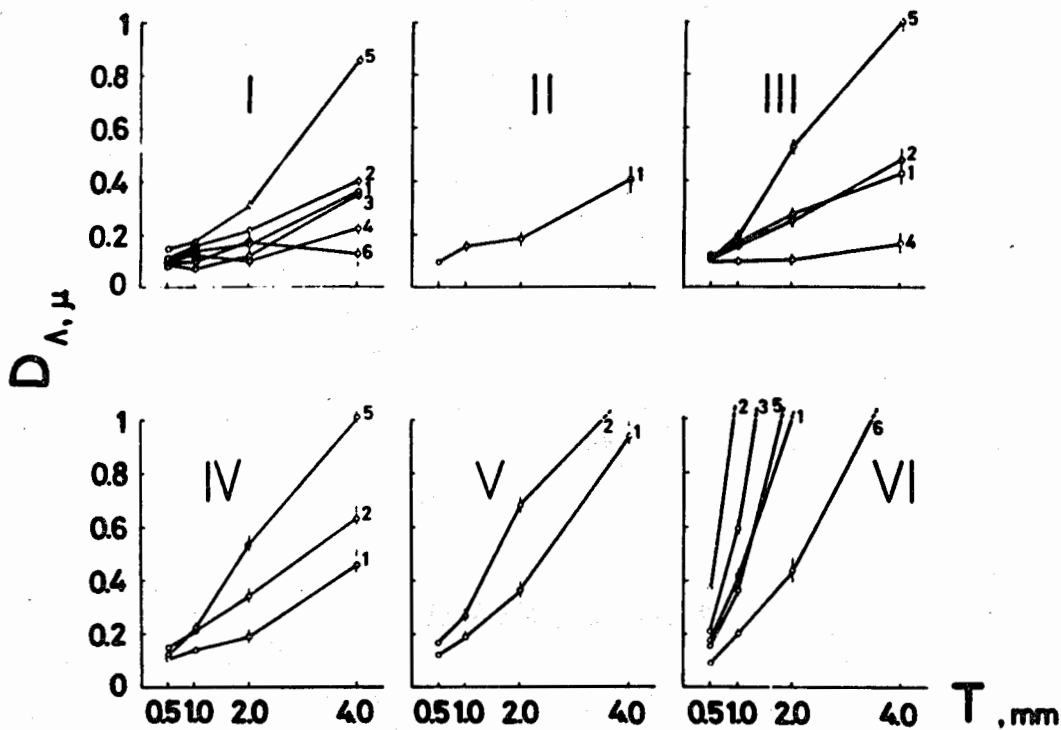


Рис. 7. Изменение ложного рассеяния от вариантов обработки (I-VI) и типа эмульсии (1-6). Для варианта У1 приводится часть данных.

Рост ложного рассеяния наблюдается лишь для вариантов обработки с резкими изменениями технологии (варианты У, УІ), а также для эмульсий невысокого качества (например, Б). Сравнительно малое влияние технологии обработки (варианты І-ІУ) на рост искажений можно объяснить стабильностью упругих свойств желатина эмульсии при относительно низких температурах обработки, отсутствием механических воздействий на эмульсию при обработке, ламинарностью тока рабочих растворов в аппаратуре и другими факторами, характерными для односторонней обработки эмульсионных камер. В табл. 7 приведены некоторые экспериментальные данные измерения импульса частиц для различных вариантов обработки.

Т а б л и ц а 7

| Ячейка,<br>мм | Вариант<br>обработки | Энергия первичного пучка частиц, ГэВ |             |            |
|---------------|----------------------|--------------------------------------|-------------|------------|
|               |                      | р 10                                 | р 19        | р 70       |
| 0,5           | І-ІУ*                | 7,2 ± 1,6                            | 8,4 ± 1,0   | 10,0 ± 1,8 |
|               | УІ                   | 1,4 ± 0,5                            | -           | 3,4 ± 0,2  |
| 1,0           | І-ІУ*                | 9,7 ± 1,2                            | 18,1 ± 0,85 | 26,7 ± 3,1 |
|               | УІ                   | 1,3 ± 0,1                            | -           | 6,5 ± 0,6  |
| 2,0           | І-ІУ*                | 11,3 ± 1,27                          | 18,1 ± 1,1  | 54,7 ± 6,1 |
|               | УІ                   | 2,0 ± 0,24                           | -           | 10,7 ± 2,0 |
| 4,0           | І-ІУ*                | 11,0 ± 1,7                           | 19,8 ± 0,9  | 76,1 ± 8,4 |
|               | УІ                   | 3,3 ± 0,25                           | -           | 9,35 ± 1,5 |

\* - средние значения для близких вариантов. Вариант УІ относится к обработке эмульсий в свободном состоянии, без подложки.

Для определения импульса частиц использовалась стандартная процедура измерений<sup>/13/</sup> с использованием различных методов исключения ложного рассеяния. На рис. 8 показано сравнительное распределение  $R\beta c$ , полученное различными методами. Метод исключения ложного рассеяния с привлечением параметра "ρ" ( $\rho = D^{\text{III}}/D^{\text{II}}$ ) дает более узкое распределение, чем другие, более сложные методы.

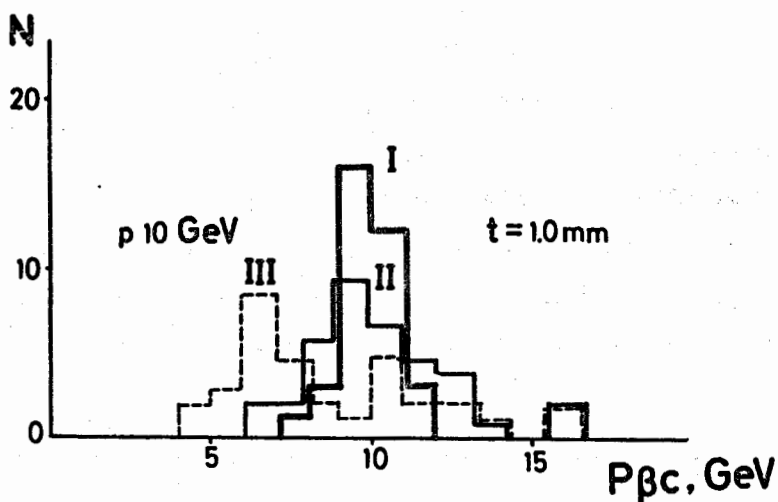


Рис. 8. Сравнительное распределение  $P_{\beta c}$ , полученных различными методами. I - с параметром " $\rho$ ". II - с использованием 3-х разностей. III - с использованием высших разностей.

Один из наиболее серьезных источников возникновения искажений - заключительная операция производственного цикла обработки, высушивание. Внутреннее напряжение в эмульсии, вызванное аномалиями процесса высушивания, обнаруживается при измерениях искажений по характерным особенностям. Для выявления подобных искажений использован растровый метод, позволяющий определить величину и дислокацию сдвигов в эмульсии. Участки эмульсии, на которых обнаруживаются дисторсии такого типа, не велики, однако вклад искажений в среднюю величину  $D_{\text{измер.}}$  на следах частиц, проходящих через "дефектные" участки, может быть значителен /14, 15/.

На рис. 9 показаны примеры влияния таких дисторсий на измерения многократного рассеяния в ядерных эмульсиях. Выбор оптимальной области для измерений рассеяния, например растровым методом, может быть полезен даже для эмульсий, обработанных в свободном состоянии, для которых общий уровень искажений всегда велик.

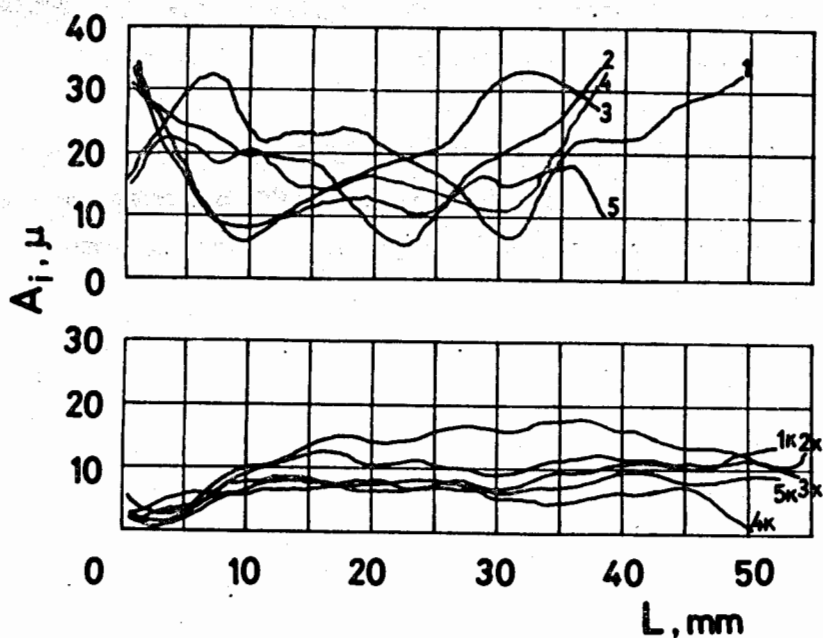


Рис. 8. Азимутальный профиль ( $A_i$ ) следов частиц ( $p50$  ГэВ) в эмульсии, обработанной в свободном состоянии. Следы 1к-5к измерены с растровым контролем дисторсий.

В табл. 8 приведены результаты измерений ложного рассеяния и дисторсий в таких эмульсиях. Там же приведены данные для аномалий процесса высушивания. Высушивание ядерных эмульсий в спиртоводных растворах с повышенным содержанием пластификаторов, использованных для уменьшения коэффициента усадки эмульсии, приводит к значительным искажениям, исключающим возможность точных измерений.

Т а б л и ц а 8

| Вариант сушки   | Зона измерений | Дисторсия, мкм/мм <sup>2</sup> | Я ч е й к а, мм |                 |                 |               |
|---|----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|   |                |                                | 0,5             | 1,0             | 2,0             | 4,0           |
| Стандартный, обработка в свободном состоянии                      | А*             | 32                             | 0,155<br>±0,007 | 0,326<br>±0,021 | 0,733<br>±0,069 | 1,42<br>±0,20 |
|   | Б              | 76                             | 0,211<br>±0,01  | 0,604<br>±0,04  | 1,98<br>±0,18   | 4,90<br>±0,70 |
| Сушка с повышенным содержанием глицерина, обработка односторонняя | А*             | 43                             | 0,288<br>±0,015 | 0,597<br>±0,036 | 0,928<br>±0,085 | -             |
|   | Б              | 110-200                        | 0,272<br>±0,015 | 0,720<br>±0,045 | 1,87<br>±0,19   | -             |

\* - оптимальный выбор зоны измерений растровым методом.

Использование оптимальных условий обработки и подготовки эмульсионных камер, изложенных выше, позволило резко снизить уровень искажений, особенно ложного рассеяния, в эмульсионных слоях и дало возможность проводить измерения импульсов заряженных частиц в десятки ГэВ/с. На рис. 10 показаны результаты измерений  $P\beta c$  в эмульсионной камере, собранной из эмульсий БР-1-600, облученной в пучке протонов с энергией 19,1 ГэВ (ЦЕРН) и проявленной в ОИЯИ<sup>/14/</sup>.

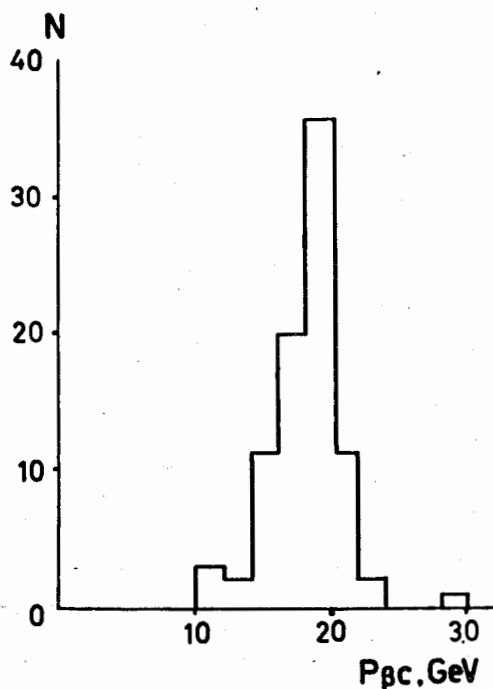


Рис. 10. Экспериментальное распределение  $P\beta c$  для 85 первичных следов, принадлежавших  $p$  19,1 ГэВ.  $N$  - число независимых значений  $P\beta c$ , вычисленных с параметром " $\rho$ ".

В настоящее время имеются данные об измерении импульсов высокоэнергичных частиц вплоть до 100 ГэВ/с в эмульсионных камерах, обработанных в ОИЯИ односторонним методом.

Анализ причин, вызывающих искажения в эмульсионных слоях камер в процессе комплексной подготовки к облучению и во время фотохимической обработки, показывает, что основными источниками искажений, в том числе ложного рассеяния, являются процессы, связанные с изменением

физического состояния структуры эмульсионного слоя. К ним прежде всего следует отнести процессы фотохимической обработки, проводящиеся при рабочих температурах, близких к 28–30°С, когда появляется опасность нарушения прочности желатинового каркаса эмульсионного слоя. К этой же категории следует отнести технологические процессы, связанные с механическим воздействием на разбухший эмульсионный слой (наклеивание, высушивание и пр.). Необходимо также учитывать важную роль качества поверхности эмульсии, наличие аperiodических искривлений поверхности и других дефектов. Подобные дефекты, приводящие к "псевдодисторсиям", могут повторяться в каждом слое камеры из-за неоднородного сжатия стопки эмульсий. Этот вид искажений во многих случаях может рассматриваться как некоторый постоянный фактор, характерный для данной камеры, легко исключаемый растровым методом. Растровыми методами идентифицируются некоторые новые виды дисторсий – точечные сдвиги, искажения в тонких эмульсионных слоях, поверхностные смещения и т.д.

### III. РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОМПЛЕКСА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАМЕР ОДНОСТОРОННИМ МЕТОДОМ

В современных физических экспериментах с использованием ядерных эмульсий возникает необходимость проявления значительных эмульсионных объемов. Достаточно напомнить о крупных эмульсионных камерах, облученных в стратосфере, на борту спускаемых аппаратов космических кораблей, на ускорителях ИФВЭ, ОИЯИ, ЦЕРНа, ФНАЛа и др., чтобы понять важность и необходимость разработки специальной аппаратуры для фотографической обработки. Фотографическая обработка толстослойных фотоматериалов представляет собой сложную техническую задачу, предусматривающую соблюдение многих требований, которые учитывались при разработке аппаратуры. К ним прежде всего относятся следующие :

1. Использование методов проявления с высокими фотографическими показателями, сводящих к минимуму или исключаящих искажения геометрической формы следов заряженных частиц в эмульсии.
2. Воспроизведение однородных (стандартных) результатов обработки от партии к партии, а также внутри отдельных партий.
3. Механизация и автоматизация основных технологических процессов.
4. Стабильность работы аппаратуры в условиях непрерывной эксплуатации холодильного и циркуляционного оборудования.
5. Максимально возможная емкость аппаратуры для снижения потерь от регрессии при разделении крупных камер на части для проявления.
6. Радиационная защита эмульсионного материала при последовательном проявлении крупных партий эмульсии.

Серьезные преимущества односторонних методов проявления, показанные выше, были использованы при разработке специальной аппаратуры для проявления эмульсионных камер, экспонированных в пучках высокоэнергичных частиц. Технологической основой метода проявления послужил известный двухтемпературный процесс проявления, предложенный НИКФИ и ОИЯИ применительно к сухой "теплой" стадии. В настоящее время это современный технологический процесс обработки ядерных эмульсий, предварительно наклеенных на подложку-стекло, позволяющий получить высокие фотографические характеристики обрабатываемых фотоматериалов с минимальными искажениями.

Для разработки комплекса аппаратуры нами был использован принцип многослойной укладки эмульсионных слоев-пластинок в унифицированном блоке-контейнере, используемом на всех стадиях производственного процесса. Для обработки эмульсионных слоев в одинаковых технологических условиях при массовом проявлении больших партий эмульсии использованы технологические линии с автоматическим поддержанием заданных параметров процесса или отдельных его стадий в течение всего длительного цикла обработки. В состав комплекса оборудования /16,17/ входят



следующие основные элементы и узлы: проявочное, фиксажно-промывное, сушильное, холодильное, циркуляционное и вспомогательное оборудование, а также элементы автоматики и КИП. Унифицированные блоки-контейнеры, вмещающие эмульсионные слои до формата 20x40 см включительно, служат для транспортировки эмульсионных слоев, проведения операций проявления и фиксирующе-промывных операций в соответствующих блоках аппаратуры. Блоки аппаратуры включены в автономные циркуляционные системы, использующие теплообменники холодильного оборудования, циркуляционные элементы и т.п. В производственном комплексе используется три автономных циркуляционных системы, обеспечивающие заданные технологические параметры обработки. Емкость оборудования во всех трех системах (по два параллельных контейнера в каждой) и трехсекционного сушильного шкафа со специальным увлажнителем составляет около 600 слоев формата 10x10 см или эквивалентное количество эмульсии другого размера до 20x40 см включительно. Допускается увеличение емкости оборудования за счёт введения дополнительных элементов. Производительность комплекса при обработке эмульсионных слоев различной толщины приведена в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

| Толщина эмульсии, мкм | Количество полных циклов /месяц | Производительность литров/ месяц |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 200                   | 20                              | 23,0                             |
| 400                   | 7,5                             | 19,5                             |
| 600                   | 4,3                             | 14,8                             |

Оценка стандартности проявления и воспроизводимости результатов, проведенная при обработке 30-литровой эмульсионной камеры (высокогорная экспедиция НИИЯФ МГУ), дала величину разброса по чувствительности между отдельными партиями проявления не более 1% при средней чувствительности  $29,8 \pm 0,4$  блоб/100 мкм<sup>/18,19/</sup>. Продолжительность обработки камеры составила около 40 суток.

## IV. В Ы В О Д Ы

1. Предложен комплекс фотографических методов исследования геометрических характеристик пучковых следов заряженных частиц, основанный на использовании оригинальных безыструментальных методов, защищенных авторскими свидетельствами (№№ 269337, 314448). В основу методов положено использование следов заряженных частиц в эмульсионном слое в качестве элементов оптического трехмерного растра. Изучены различные способы прямых наблюдений эмульсионных растров (в когерентном, диффузном, направленном свете). Предложены методы оценки уровня дисторсий в эмульсии с чувствительностью не хуже  $2-3 \text{ мкм/мм}^2$  по степени нерегулярности растра, обнаруживаемой визуально. Описаны интегральные методы получения топографических данных о распределении дисторсий по площади, в том числе с помощью многофазного цветовыделения. Рассмотрены перспективы использования растровых методов в экспериментальной ядерной физике.

2. Изучены особенности возникновения искажений при подготовке эмульсионных камер к облучению. Показано, что наличие аperiodических макроискривлений поверхности эмульсии приводит к значительному росту искажений. Исключение искажений типа "псевдодисторсий" растровыми методами снижает ложное рассеяние в эмульсионных слоях в 3-5 раз. Предложен метод сборки эмульсионных камер с точными геометрическими размерами.

3. Рассмотрены различные методы обработки эмульсионных камер. Отмечены серьезные преимущества односторонних методов проявления при обработке эмульсионных камер, облученных в пучках частиц высоких энергий. Предложены оптимальные режимы проведения технологических операций, позволяющие обрабатывать эмульсионные слои с минимальными искажениями. При этом возможно измерение импульсов однозарядных частиц до 30-40 ГэВ/с при соотношении "сигнал/шум", равном двум. Показано,

что аномалии процесса наклеивания, высушивания приводят к росту ложного рассеяния в 5-10 раз, что совпадает с результатами, полученными для эмульсий, обработанных в свободном состоянии.

4. Изучены особенности возникновения искажений типа ложное рассеяние в эмульсионных камерах, обработанных в различных производственных условиях. Показаны пути снижения ложного рассеяния в эмульсионных слоях, обработанных односторонним методом, позволяющие расширить область измерений импульсов частиц высоких энергий по многократному рассеянию в эмульсии. Отмечается эффективность метода исключения ложного рассеяния с помощью параметра " $\rho$ ". Показано, что при тщательном отборе эмульсионного материала для облучения (или его специальной подготовке, исключающей искажения типа "псевдодисторсии"), применении интегральных растровых методов для выбора оптимальных зон измерений, использовании эффективных методов односторонней обработки в стабильных производственных условиях возможно снижение ложного рассеяния в эмульсионных слоях до уровня, допускающего измерения импульсов частиц до 70-100 ГэВ/с на стандартных ячейках.

5. Показаны возможности визуальных растровых методов для интегральной идентификации дисторсий, определения границ распространения дисторсий, количественной характеристики искажений в эмульсии. Обнаружены и идентифицированы неизвестные ранее типы дисторсий (точечные сдвиги, искажения в тонких эмульсиях, поверхностные сдвиги, "псевдодисторсии" и пр.).

6. Разработана, изготовлена и эксплуатируется в течение многих лет аппаратура проявочного комплекса, обеспечивающая стандартную обработку крупных эмульсионных камер, вплоть до уникальных (например, по программе "Интеркосмос"). Объем одновременной загрузки аппаратуры около 2,5 литров до формата 20x40 см включительно. Исследованы технологические характеристики отдельных узлов и всего комплекса в целом в рабочих условиях эксплуатации.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.И.Баранов. ПТЭ, № 1, 74 (1967); деп. ВИНТИ 108-66, М., 1967.
2. W.I.Varanow. Proc. 6. Intern. Confer. Corpuscul. Photogr., Florence, ed. CERN, Roma, 1961, p. 91.
3. В.И.Баранов. Препринт ОИЯИ Б1-4710, Дубна, 1968.
4. В.И.Баранов, И.С.Марьин. ПТЭ, № 6, 61 (1968).
5. M.I. Tretjakova, M.M.Chernjavski, C.S.Bogomolov, V.A.Mylzeva, O.I.Okuneva, L.N.Vokova, S.I.Ljubomilov, V.I.Varanow. Proc. 7. Colloque Intern. de Photogr. Corpusculaire, Barcelone (Strasbourg), 1970, Compte Rendu, p. 49-54.
6. В.И.Баранов. Препринт ОИЯИ Б1-2733, Дубна, 1966.
7. В.И.Баранов, И.С.Марьин. Препринт ОИЯИ Б3-13-3534, Дубна, 1967.
8. М.И.Третьякова, М.М.Чернявский, К.С.Богомолов, В.А.Мыльцева, Э.И.Чикунова, Л.Н.Бокова, С.И.Любомилов, В.И.Баранов. Proc. 8. Intern. Confer. Nuclear Photogr., Bucharest, 1972, ed. IFA, v. 2, p. 219-223.
9. В.И.Баранов. Препринт ОИЯИ 13-3790, Дубна, 1968.
10. В.И.Баранов. Авторское свидетельство № 269337. БИ, 1970, № 15, стр. 63.
11. В.И.Баранов. Авторское свидетельство № 314448. БИ, 1975, № 1, стр. 157.
12. W.I.Varanow. Proc. 7. Colloque Intern. de Photogr. Corpusculaire, Barcelone (Strasbourg), 1970, Compte Rendu, p. 765.
13. В.И.Баранов, А.М.Газетова. Препринт ОИЯИ Б1-13-3786, Дубна, 1967.
14. В.И.Баранов. ПТЭ, № 4, 219 (1968); деп. ВИНТИ 260-68, М., 1968.
15. В.И.Баранов. ПТЭ, № 4, 207 (1969); деп. ВИНТИ 624-69, М., 1969.
16. В.И.Баранов. Препринт ОИЯИ 13-3083, Дубна, 1966.

17. В.И.Баранов. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 13, вып. 3. 212 (1968).
18. В.И.Баранов. Препринт ОИЯИ БЗ-3082, Дубна, 1967.
19. В.И.Баранов. Сб. аннотаций ФЭК ОИЯИ. Препринт ОИЯИ Р13-3161, Дубна, 1967, стр. 11.
20. В.И.Баранов. Сб. "Открытия и изобретения сотрудников ОИЯИ". Препринт ОИЯИ Р-7473, Дубна, 1973, стр. 37.

Рукопись поступила в издательскую группу  
30 октября 1975 года.