



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

4430/2-81

31/VIII-81

13-81-321

П.Ульман, Х.Ульман, Ю.А.Щербаков, К.Зелигер\*

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ  
ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ  
ПРИ ПОМОЩИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Направлено в "Журнал технической физики"

---

\* Центральный институт электронной физики АН ГДР,  
Берлин.

1981

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Как показано в работах<sup>/1,2,3/</sup>, можно регистрировать треки частиц в стримерной камере с помощью азотного импульсного лазера и простых оптических средств, если исследуется относительно малый объем стримерной камеры и применяется теневой метод с проекцией на пленку большого формата. В работе<sup>/3/</sup> указаны первые результаты регистрации на малоформатной пленке треков частиц с помощью лазера на красителе.

Целью данной работы является разработка и реализация стереоскопического метода съема информации с камеры, освещаемой лазерным излучением.

В простейшем случае для этой цели можно осуществить освещение камеры двумя лазерами или использовать расщепленный пучок от одного лазера и производить фотографирование на две отдельные пленки. Однако такой метод не всегда выполним в реальных системах, когда камеру приходится размещать в магнитном поле. Кроме того, для подвода высокого напряжения необходимо использовать подход к камере с нижней стороны. В связи с этим нами предлагается применить для освещения сферическое зеркало, размещенное под нижним высоковольтным электродом. Пучок света от азотного лазера фокусируется в центр кривизны зеркала и под некоторым углом  $/5 \pm 10^\circ/$  падает на поверхность зеркала, проходя через стримерную камеру. После отражения он фокусируется в смещенном радиусе кривизны, около которого располагается объектив, осуществляющий прием информации со стримерной камеры. Проходя стримерную камеру, свет двукратно рассеивается на образующихся стримерах. Этот рассеянный свет идет под малым углом по отношению к лазерному пучку и фокусируется фотообъективом, прямо переносящим изображение на пленку. В результате мы имеем два смещенных относительно друг друга изображения и по параллаксу можем получить данные относительно глубинной координаты. При фотографировании тенеграмм таким способом можно иметь только их изображение, перехватив в районе фокусировки пучка основной нерассеянный свет. В этом случае тенеграмма треков будет представлять собой белое изображение на темном фоне, т.е. обратное тому, которое должно наблюдаться в проходящем пучке. Ниже излагаются экспериментальные результаты по проверке предлагаемого метода фотографирования камеры в лазерном пучке.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

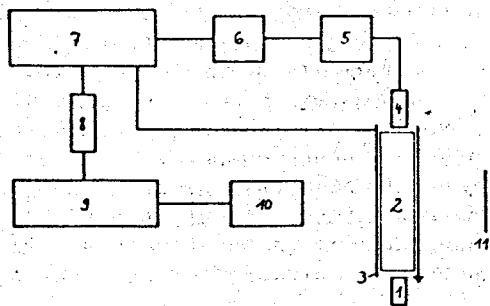
### 2.1. Описание экспериментальной установки

Блок-схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Разрядная камера представляет собой параллелепипед из стекла размером 250x240x100 мм<sup>3</sup>. Высоковольтными электродами камеры служат стеклянные пластинки с покрытием SnO<sub>2</sub> размером 150x130x2 мм<sup>3</sup>, которые были изготовлены в Научно-исследовательском центре народного предприятия "Карл Цейс Йена" в ГДР, и проволочные электроды  $\varnothing$  0,1 мм с сеткой с шагом 10 мм. Треки частиц были получены так, как и в работе <sup>3/</sup>, с помощью источника <sup>90</sup>Sr в смеси 89%He + 10%CH<sub>4</sub> + 1%N<sub>2</sub>O. Мы использовали два азотных импульсных лазера разной мощности излучения с продольным электрическим возбуждением, разработанных в Центральном институте электронной физики АН ГДР <sup>4,5/</sup>. Рабочие параметры лазеров:

	лазер 1	лазер 2
мощность излучения в импульсе	300÷500 кВт	0,9÷1,25 МВт
длительность импульса	2,5 нс	4÷5 нс
длина лазерной трубки	300 мм	1000 мм
расходимость луча	14 мрад	5 мрад
напряжение питания	20-25 кВ	20-25 кВ
коэффициент полезного действия	0,1%	0,1%

Лазер 1 уже был использован нами в работе <sup>3/</sup>. Оба лазера имеют отпаянные трубки и работают без газового перенаполнения. Длительность жизни этих лазеров очень высокая и составляет более 10<sup>7</sup> импульсов, частота срабатывания от одиночных импульсов - до 100 Гц /при продолжительной работе до 10 Гц без воздушного охлаждения/. Воспроизводимость мощности в лазерных импульсах составляет 5%. Использование отпаянных систем позволило изготовить относительно небольшие надежные лазеры. Благодаря почти круглому лазерному лучу с малой расходимостью оказалось очень простым возбуждение лазеров на красителях для трансформации частоты из ультрафиолетовой в видимую область

Рис. 1. Блок-схема экспериментального устройства. 1 - источник <sup>90</sup>Sr, 2 - стримерная камера, 3 - электрод, 4 - фотоумножитель, 5 - усилитель, 6 - тиратронный запуск ГИН, 7 - генератор импульсных напряжений /ГИН/, 8 - задержка, 9 - лазер N<sub>2</sub>, 10, 11 - оптическая система.



спектра. При этом лазерный пучок фокусируется в кювету с красителем, имеющую плоскопараллельные окна, и не требуется резонатора, если должна производиться только трансформация частоты. В качестве красителя мы использовали, как в работе <sup>3/</sup>, родамин 6Ж /концентрация - 10<sup>-3</sup> моль/л, растворитель - C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH /, но можно применять и другие красители.

Запуск азотного лазера осуществлялся импульсом амплитудой 15 кВ с первого каскада генератора импульсного напряжения типа Аркадьева-Маркса /ГИН/. Задержка импульса лазерного света по отношению к моменту начала разряда в камере регулировалась путем изменения длины подводных кабелей и могла меняться в интервале 0÷1000 нс. Минимальная задержка лазерного импульса по отношению к запускающему составляла 60 нс±10%.

### 2.2. Регистрация электронных треков большой длины в стримерной камере прямым теневым методом на малоформатной пленке

Для регистрации стримеров мы использовали прямой теневой метод, т.е. шпирен-метод без оптического изображения объекта. На рис. 2 показана оптическая схема. Вместо экрана можно непосредственно поставить фотографическую пленку, если исследуемый объем камеры мал <sup>1,2,3/</sup>. Для того, чтобы регистрировать треки большой длины, мы фотографировали тенеграмму, возникающую на экране. Требуется флуоресцирующий экран, если применяется ультрафиолетовый свет азотного лазера. В этом случае в качестве экрана мы пользовались белой фотобумагой и с помощью лазера на красителе могли фотографировать сзади возникающее на прозрачном рассеивателе распределение света. На рис. 3 можно видеть тенеграмму трека электрона, полученную описанным методом. Созданное на экране флуоресцентное изображение фотографировалось фотообъективом Tessar-2,8/50. Мы пользовались пленкой "Изопанхром 22", имеющей чувствительность 1300 ГОСТ, размер кадра - 24x36 мм<sup>2</sup>. В опытах, результаты которых показаны на рис. 3а, были использованы в качестве высоковольтных электродов стеклянные пластинки с покрытием из SnO<sub>2</sub>. Для уменьшения оптических потерь, возникающих при освещении лазерным пучком стримерной камеры, стеклянные электроды заменялись проволочными. Это имеет особое значение в опытах, описанных в главе 2.3., где при помощи зеркала лазерный пучок два раза проходит через камеру. Вначале мы заменили только один электрод. На рис. 3б показана полученная таким образом тенеграмма. Замена обоих стеклянных электродов двумя проволочными позволяет регистрировать треки длиной 20 см, так как стеклянные электроды были меньше по размеру /всего 14x12 см<sup>2/</sup>. На

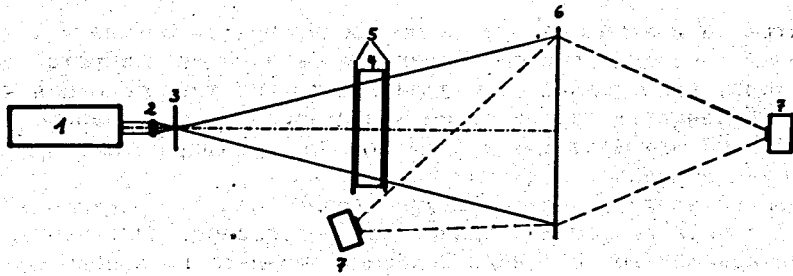


Рис.2. Оптическая схема для регистрации треков частиц в стримерной камере с помощью прямого теневого метода, причем возникающее на экране распределение света фотографируется. 1 - азотный импульсный лазер, 2 - кварцевая линза, 3 - диафрагма, 4 - стримерная камера, 5 - высоковольтные электроды, 6 - экран, 7 - фотокамера.

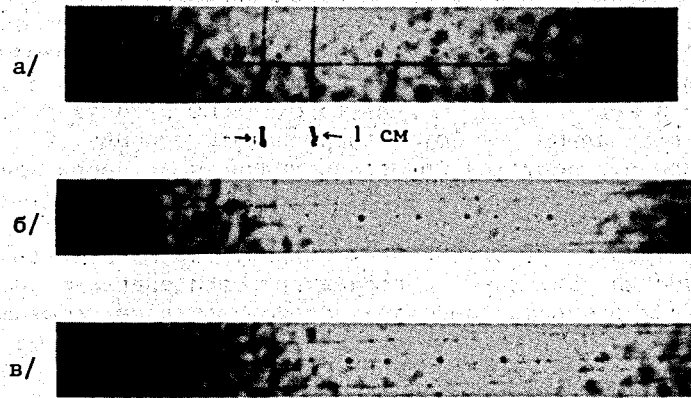
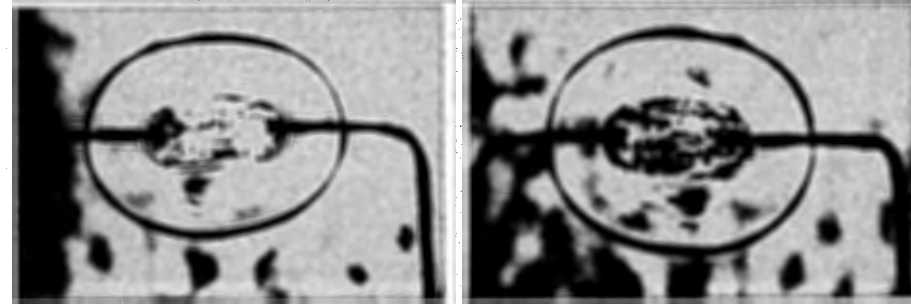


Рис.3. Лазерные тенеграммы треков электронов в стримерной камере, снятые с флуоресцирующего экрана. Напряженность электрического поля  $\sim 10$  кВ/см. а/ Длина трека  $\sim 12$  см, задержка лазерного импульса по отношению к моменту начала разряда в камере  $\sim 800$  нс; б/ длина трека  $\sim 14$  см, задержка лазерного импульса по отношению к моменту начала разряда в камере  $\sim 1,5$  мкс; в/ длина трека  $\sim 20$  см, задержка лазерного импульса по отношению к моменту начала разряда в камере  $\sim 1,1$  мкс.



а/

б/

Рис.4. Лазерные тенеграммы искровых разрядов в воздухе,  $\lambda = 337$  нм, межэлектродный промежуток  $\sim 8$  мм, толщина проволоки  $\sim 0,6$  мм, расстояние между объектом и экраном или пленкой соответственно 110 см; а/ тенеграмма разряда, полученная прямо на пленке МЗ-ЗМ чувствительностью  $5 \div 7$  ГОСТ, размер кадра -  $55 \times 70$  мм<sup>2</sup>; б/ тенеграмма разряда, полученная путем фотографирования экрана с использованием объектива Tessar 2,8/50, применяемая пленка - "Изопанхром 22" чувствительностью 1300 ГОСТ, размер кадра -  $24 \times 36$  мм<sup>2</sup>.

рис.3в показана такая же лазерная тенеграмма. К сказанному можно добавить, что фотобумага, которую мы использовали в качестве экрана, не представляет собой его оптимального варианта. Значительное повышение чувствительности и способности разрешения должно было бы быть получено путем оптимизации флуоресцентных свойств экрана и использования прозрачного флуоресцирующего экрана.

На рис.4 проведено сравнение качества снимков, полученных при регистрации прямо на пленке и путем фотографирования с экрана. Объектом являлся искровой пробой в воздухе. Задержка лазерного импульса по отношению к моменту начала искрового пробоя составляла 10 мкс. Тенеграммы, полученные с помощью обоих методов, четко показывают несветящийся фронт ударной волны и предел разрядного канала, так называемую "оболочку", обнаруженную впервые Мандельштамом<sup>6/</sup>. Но качество картины на рис.4а, конечно, лучше, чем на рис.4б, по способности разрешения и контрасту. Неравномерный фон на обеих фотографиях обусловлен неравномерным распределением энергии в лазерном пучке.

### 2.3. Стереоскопическая лазерная регистрация треков электронов в стримерной камере

Чтобы получить данные о треках частиц в трехмерном пространстве, можно применять разные оптические методы. Одна из возможностей - это двухлучевая голография, но обработка информации при этом требовала бы новых методов. Другая возможность состоит в освещении камеры двумя источниками, чтобы получить два снимка /тенеграммы/. Этот вариант нуждается или в делении лазерного луча, или в двух лазерах, которые точно синхронизированы с событиями в камере. Для каждого события придется получать два снимка. Третьей возможностью является такой вариант, где зеркало поставлено за камеру таким образом, чтобы отраженный от зеркала свет проходил второй раз через камеру, но под малым углом к падающему пучку. На одном снимке получаются две тенеграммы одного и того же трека. Одно изображение возникает при первом проходе лазерного луча через камеру, а второе - при проходе через камеру отраженного от зеркала пучка света. Если зеркало наклонено только вдоль горизонтальной оси, аналогичные точки трека на снимке лежат непосредственно одна над другой, и по расстояниям между этими точками можно определить положение трека в трехмерном пространстве. Расстояние соответствующих точек на тенеграммах является самым большим, если точки трека наиболее удалены от зеркала, и самым малым, если точки трека наименее удалены от него. Если зеркало повернуть вокруг горизонтальной и вертикальной осей, тогда изображения трека лежат одно над другим и, кроме того, еще сдвинуты в сторону.

Возможно еще большее число оптических схем для стереоскопической регистрации треков частиц при помощи отражающего зеркала. В дальнейшем показаны результаты двух опытов, демонстрирующих принципиальную пригодность метода с зеркалом. Первый опыт проводился по оптической схеме, изображенной на рис.5. Ультрафиолетовое излучение азотного лазера трансформируется в видимую область спектра с помощью красителя, а видимый свет проходит через телескопическую систему и падает в виде параллельного пучка в стримерную камеру. Отраженный от сферического зеркала /диаметр - 25 см, радиус кривизны - 220 см/ свет проходит второй раз через камеру в виде сходящегося пучка. С помощью второго объектива Tessar 4,5/360 изображение камеры проектируется на плоскость пленки. Полученные таким образом результаты изображены на рис.6. Зеркало было повернуто так, что второй трек был передвинут по высоте и в сторону. Извлечение данных о положении трека в трехмерном пространстве является особенно простым, если для получения тенеграмм используется параллельный луч лазерного света и плоское зеркало. Опыт в этом случае проводится по оп-

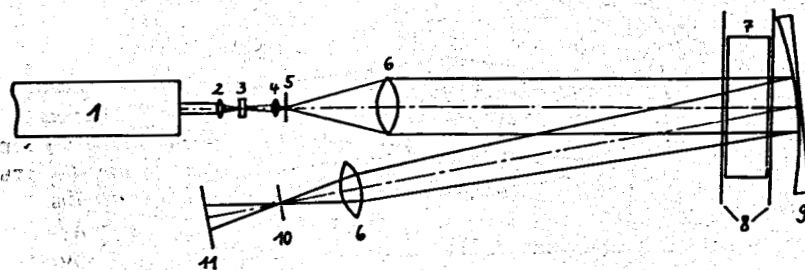


Рис.5. Оптическая схема для стереоскопической регистрации треков частиц с помощью сферического рефлектора за стримерной камерой: 1 - азотный импульсный лазер, 2 - кварцевая линза, 3 - кювета с красителем, 4 - микрообъектив, 5 - точечная диафрагма  $\phi 24$  мкм, 6 - объектив Tessar 4,5/360, 7 - стримерная камера, 8 - высоковольтные электроды, 9 - сферический рефлектор, 10 - диафрагма, 11 - пленка.

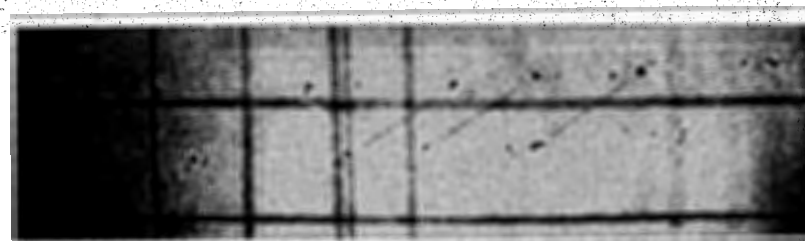


Рис.6. Стереоскопическая регистрация трека электрона в стримерной камере с помощью лазера на красителе. Напряженность электрического поля  $\sim 10$  кВ/см, длина трека  $\sim 7$  см, задержка лазерного импульса по отношению к моменту начала разряда в камере  $\sim 700$  нс, пленка - "Изопанхром 22".

тической схеме, изображенной на рис.7, результаты такого опыта показаны на рис.8. Плоский рефлектор был наклонен к горизонтальной плоскости, поэтому аналогичные точки трека лежат вертикально друг над другом. Положение трека в пространстве определяется из параллакса для соответствующих точек. На рисунке расстояние между обоими треками не изменяется, это значит, что частица проходила через камеру параллельно стенке стримерной камеры.

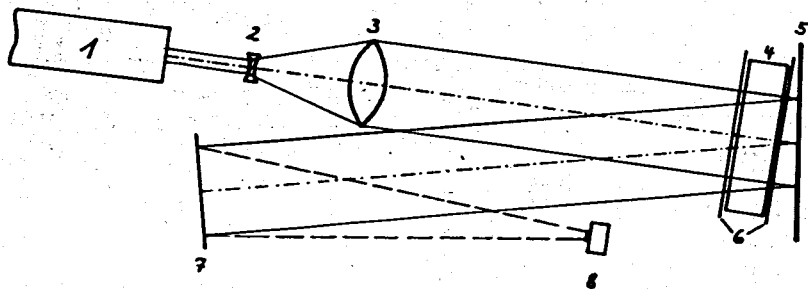


Рис.7. Оптическая схема для стереоскопической регистрации треков частиц с помощью плоского рефлектора за стримерной камерой. 1 - азотный импульсный лазер, 2 - рассеивающая линза, 3 - собирающая линза, 4 - стримерная камера, 5 - плоский рефлектор, 6 - высоковольтные электроды, 7 - экран, 8 - фотокамера.

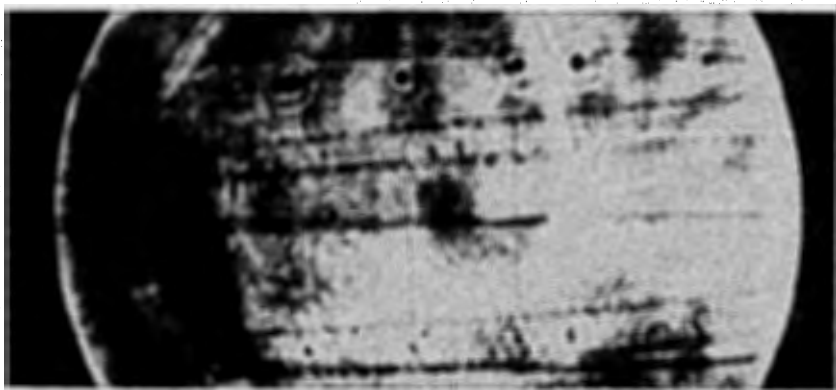


Рис.8. Стереоскопическая лазерная регистрация трека электрона в стримерной камере. Фотография с экрана. Напряженность электрического поля  $\sim 10$  кВ/см, длина трека  $\sim 8$  см, задержка лазерного импульса по отношению к моменту начала разряда в камере  $\sim 2$  мкс.

### 3. ВОЗМОЖНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДЛЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ТРЕКОВ ЧАСТИЦ В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ

Предложены две оптические схемы /рис.9 и 10/ для стереоскопической регистрации треков частиц длиной больше 40 см на малоформатной пленке с помощью лазерной техники.

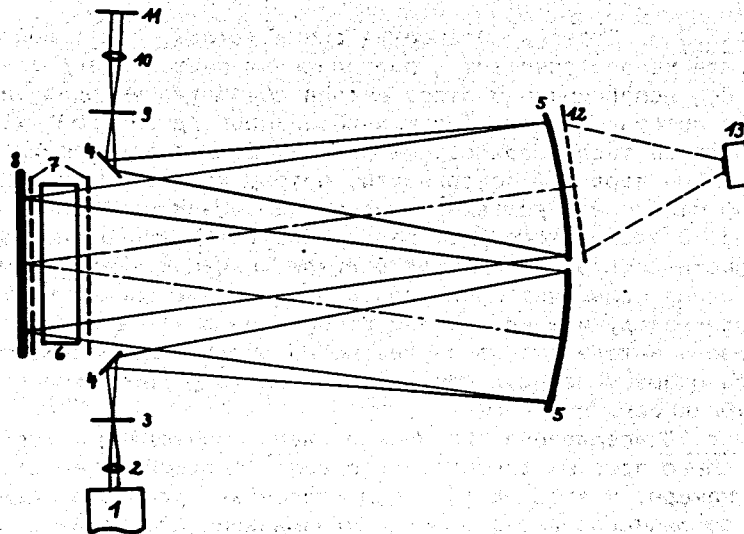


Рис.9. Оптическая схема для стереоскопической регистрации треков частиц при помощи параллельного пучка лазерного света: 1 - азотный импульсный лазер, 2 - объектив, 3 - точечная диафрагма, 4 - зеркало, 5 - сферический рефлектор, 6 - стримерная камера, 7 - высоковольтные электроды, 8 - плоский рефлектор, 9 - диафрагма, 10 - объектив, 11 - пленка, 12 - экран, 13 - фотокамера.

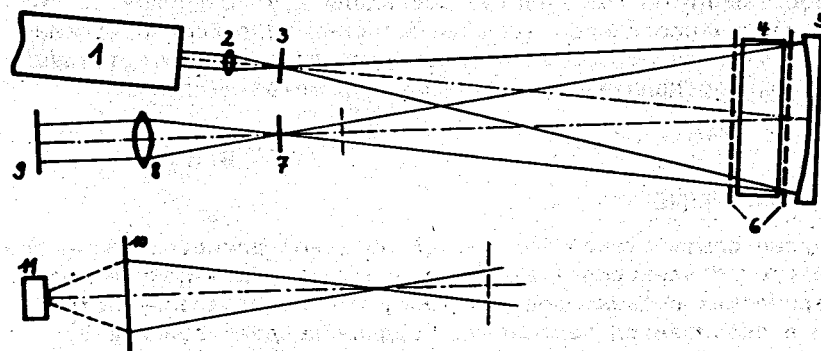


Рис.10. Оптическая схема для стереоскопической регистрации треков частиц большой длины при помощи сферического рефлектора. Расстояние между точечной диафрагмой и сферическим рефлектором составляет  $2f$  зеркала. 1 - азотный импульсный лазер, 2 - объектив, 3 - точечная диафрагма, 4 - стримерная камера, 5 - сферический рефлектор, 6 - высоковольтные электроды, 7 - диафрагма, 8 - объектив, 9 - пленка, 10 - экран, 11 - фотокамера.

На рис.9 изображена оптическая схема метода, в которой стримерная камера освещается параллельным пучком лазерного света. При использовании этого метода обработка информации особенно простая. Вместо больших объективов /диаметром ~40 см/ лучше пользоваться сферическими рефлекторами с отражающим покрытием на передней поверхности, потому что такие рефлекторы можно изготовить дешевле и легче, чем объективы такого же диаметра. С учетом того, что лазер работает в ультрафиолетовой области спектра, это имеет большое значение. Такая оптическая схема позволяет производить регистрацию треков частиц по шлирен-методу или при замене второго рефлектора на экран - по теневому методу, как это указано на рис.8. Нами также проводились попытки регистрации по шлирен-методу /результаты будут опубликованы позднее/.

На рис.10 предложена оптическая схема, позволяющая с помощью относительно простых средств исследовать большой объем стримерной камеры. В этом методе рефлектором за стримерной камерой служит сферическое зеркало и для минимизации aberrаций используются центральные лучи. Через стримерную камеру проходит расходящийся лазерный пучок, а после отражения от зеркала - сходящийся пучок. И этот оптический метод позволяет регистрировать треки частиц при помощи как прямого теневого метода, так и шлирен-метода. В будущем мы исследуем техническую применимость такой схемы. Для повышения прозрачности камеры предполагается разместить высоковольтные сетки таким образом, чтобы их изображения большей частью совпадали друг с другом. В связи с коническим проектированием изображений тенеграм предполагается, что при обработке следов будут введены соответствующие поправки, определяемые конкретными параметрами оптики.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первые опыты стереоскопической лазерной регистрации на одном кадре треков электронов в стримерной камере при помощи плоских и сферических рефлекторов доказали, что использование этих методов оказывается возможным. Предложены два варианта построения оптики для стереоскопической регистрации треков частиц большой длины на малоформатной пленке при помощи техники импульсного лазера.

Пользуясь экраном, можно регистрировать треки электронов длиной около 20 см в стримерной камере теневым методом на малоформатной пленке при помощи импульсного лазера. Регистрируемая длина треков была ограничена только размером высоковольтных электродов.

Авторы благодарны А.Г.Потехину за помощь в работе и Научно-исследовательскому центру народного предприятия "Карл Цейсс Иена" за предоставление аппаратуры. Авторы признательны проф. В.П.Джелепову за интерес к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калимов А.Г. и др. Письма в ЖТФ, 1977, т.3, вып.20, с.1057.
2. Калимов А.Г. и др. Препринт ЛИЯФ, №407, Л., 1978.
3. Ульман П. и др. ОИЯИ, P13-12260, Дубна, 1979.
4. Seliger K., Ross W. DDR-Patent, 1970, WP No.86888.
5. Ross W., Irmer J., Seliger K. Exp.Tech.Phys., 1975, 23, p.593.
6. Абрамсон И.С. и др. ЖЭТФ, 1947, т.17, вып.10, с.862.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 мая 1981 года.