

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

923/84

13/II-84

P1-83-742

Е.Бартке, И.Ц.Иванов, Ю.А.Щербаков

ПРИМЕНЕНИЕ ГОЛОГРАФИИ
В ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРАХ
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ
(пузырьковые и стримерные камеры)

Направлено в журнал "Квантовая электроника"
и на IV Международную школу-конференцию
"Применение лазеров" /Бехине, ЧССР/

1983

1. ВВЕДЕНИЕ

Детекторы заряженных частиц, которые дают возможность проследить путь частицы и все изменения, происшедшие с ней на этом пути, давно занимают видное место в методах экспериментальной ядерной физики. К таким детекторам относятся пузырьковые и стримерные камеры.

В последнее время в связи с открытием нового семейства элементарных частиц, характеризующихся очень коротким временем жизни, порядка 10^{-12} с и меньше /очарованные мезоны и барионы, τ -лептоны/, вопрос о создании трековых детекторов с повышенным пространственным разрешением оказался очень актуальным.

Идея применения голографического съема информации с пузырьковых камер была высказана в 1965 году ленинградскими физиками А.П.Комаром, М.В.Стабниковым и Б.Г.Турухано^{/1/} и почти одновременно английским физиком В.Т.Уильфордом^{/2/}, которые обратили внимание на то обстоятельство, что голография позволяет увеличивать пространственную разрешающую способность камеры, а также повышать ее эффективность путем увеличения загрузки пучковыми частицами. Реализация идеи применения голографии была осуществлена в 1968 году ленинградскими физиками: в созданной ими первой голографической пузырьковой камере /ГПК/ было достигнуто разрешение 30 мкм^{/3/}. В недавно проведенных экспериментах разрешение было улучшено: в малогабаритной пузырьковой камере было получено разрешение -6 мкм на глубине в десять см^{/4/}.

Голографические пузырьковые камеры /ГПК/, работающие в режиме повышенной частоты /до 50 Гц/ в интенсивном пучке / $\sim 10^8$ частиц в импульсе/, используются как "вершинные детекторы"¹ гибридных спектрометров, предназначенных для поиска и изучения короткоживущих частиц^{/5/}. В стримерных камерах голография была впервые применена в 1973 году физиками из ЛИАФ /Ленинград/ и ОИАИ /Дубна/, которые регистрировали голограммы треков электронов от бета-распада ^{90}Sr в гелиевой стримерной камере при атмосферном давлении^{/6/}. Разработки голографических стримерных камер /ГСК/ с разными рабочими газами при нормальном и повышенном давлении ведутся в Ленинграде и Дубне, где созданы водородные, дейтериевые и гелиевые ГСК^{/7-10/}. В этих камерах регистрировались лазерные тенеграммы треков частиц и достигнуто разрешение лучше ста микрон. С использованием ультрафиолетового излучения импульсного лазера на азоте для ионизации камерного объема в гелиево-метановой ГСК при давлении 3,5 атм было получено разрешение 60 мкм^{/11/}.

2. ПРЕИМУЩЕСТВА ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ С ПУЗЫРЬКОВЫХ И СТРИМЕРНЫХ КАМЕР

Основная проблема при использовании классических пузырьковых и стримерных камер для поиска новых короткоживущих частиц состоит в невозможности одновременного увеличения разрешения и глубины резкости, так как с увеличением разрешения /для поиска очарованных частиц нужно разрешение $\delta x \sim 10$ мкм/ уменьшается глубина резкости изображаемого пространства. При регистрации оптической неоднородности диаметром $\bar{d} = 10$ мкм и освещении камерного объема некогерентным светом с $\lambda = 0,5$ мкм в соответствии с формулой

$$\delta \bar{x} = 0,61 \sqrt{\lambda r'} \quad /1/$$

глубина резкости r' составляет только ~ 500 мкм. Формула /1/

$$\text{получена на основании формул } \delta x = 1,22 \frac{\lambda f}{D} = \frac{1,22 \lambda}{2n \sin \theta}, \quad r' = \pm \frac{\delta x}{\sin \theta},$$

где λ - длина волны, f - фокусное расстояние объектива, D - его апертура, n - показатель преломления оптической среды, θ - половина угла луча, входящего в первый оптический элемент объектива, δx - разрешение; в нашем случае $\delta x = d$.

Совсем иначе обстоит дело с применением голографии: при освещении камерного объема пузырьковой или стримерной камеры лазерным пучком с последующей регистрацией голограммы треков в камере глубина резкости определяется длиной когерентности используемого лазера:

$$r' = \frac{L_{\text{ког.}}}{12} \left(\frac{d}{\lambda} \right)^2 \quad /2/$$

При той же длине волны, но с лазерным излучением с длиной когерентности $L_{\text{ког.}} = 5$ см и для объекта с таким же диаметром глубина резкости составляет 1,67 м; т.е. все пузырьки и стримеры с диаметром 10 мкм любого трека длиной до 1,67 м будут регистрироваться голограммой. При восстановлении изображения камерного объема с этой голограммы можно будет различить изображение каждого пузырька или стримера.

Голографический метод съема информации со стримерной камеры не только увеличивает ее пространственное разрешение как трекового детектора, но и улучшает ее чувствительность, т.е. увеличивается отношение числа зарегистрированных стримеров к потоку частиц, при этом размеры стримеров гораздо меньше, чем при фоторегистрации. Улучшение чувствительности связано с тем, что в ГСК регистрация обусловлена не светимостью стримера, как в классических СК, а рассеянием лазерного света на оптических неоднородностях в стримерных каналах в местах прохождения части-

цы. Таким образом, голограмма регистрирует одинаковым образом яркие и неяркие стримеры, в то время как в классических СК, поскольку регистрация ведется на фотопленке высокой чувствительности, из-за большого размера эмульсионного зерна пленка объединяет в одно изображение высвечивание нескольких, близко расположенных стримеров.

Преимущества ГСК становятся бесспорными при работе с такими газами, как водород и дейтерий: стримерный разряд в этих газах высвечивается в ультрафиолетовой области, что снимает необходимость применения ЭОП и высокочувствительной пленки.

Чувствительность ГСК определяется:

- составом и давлением используемого рабочего газа или газовой смеси,
- параметрами высоковольтного импульса, прикладываемого к электродам камеры, и конструкцией камеры,
- длиной волны, длительностью импульса и длиной когерентности используемого лазерного излучения,
- параметрами используемой для регистрации голограммы фотоэмульсии.

ГПК и ГСК могут работать в интенсивных пучках частиц, в то время как классические ПК и СК в таких пучках являются перегруженными из-за наложения изображений треков.

В работе ^{/3/} подсчитана эффективная емкость голограммы пузырьковой камеры и показана возможность увеличения загрузки пузырьковой камеры треками более чем в 10^4 раз по сравнению с методом стереофотографирования. Однако в реальных условиях необходимо учитывать влияние турбулентности из-за повышенного тепловыделения в жидкости при большой загрузке треками и высокой частоте срабатывания, что приводит к уменьшению отношения сигнал/шум в восстановленном с голограммы изображении ^{/12/}.

3. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ГПК И ГСК И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ЭЛЕМЕНТАМ

Принципиальная схема ГПК /ГСК/ показана на рис. 1а. Поскольку ПК является неуправляемым трековым детектором, то временная структура пучка частиц из ускорителя /импульс 1/ формируется в соответствии с циклом срабатывания камеры /кривая 2/. Момент подачи лазерного импульса /импульс 3/ определяется временем пролета частиц через камеру /импульс 1/ с задержкой $\sim 10 \div 100$ мкс /рис.1б/.

Так как стримерная камера является управляемым прибором, здесь моменты подачи высоковольтного импульса с генератора импульсов напряжений ГИН /импульс 2/ и лазерного импульса /импульс 3/ определяются временем прохождения частиц через камеру /импульс 1/ - рис.1в. Для достижения высокого пространственного разрешения в ГСК задержка лазерного импульса относи-

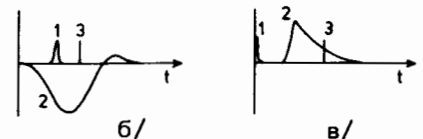
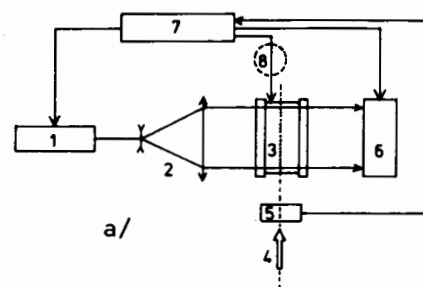


Рис.1. а/ Принципиальная схема установки с голографической пузырьковой/стримерной/ камерой. 1 - импульсный лазер $\lambda = 290 \div 690$ нм/, 2 - оптическая система формирования пучка, 3 - камера /пузырьковая или стримерная/, 4 - пучок частиц, 5 - детекторы частиц и система формирования триггера, 6 - фотокамера, 7 - система управления и синхронизации, 8 - генератор импульсов напряжений /для стримерной камеры/. б/ Временная диаграмма голографической регистрации информации с пузырьковой камеры. 1 - время прохождения пучка частиц, 2 - кривая расширения камеры, 3 - лазерный импульс.

в/ Временная диаграмма голографической регистрации информации со стримерной камеры. 1 - импульс системы детектирования частиц, 2 - высоковольтный импульс генератора импульсов напряжений, 3 - лазерный импульс.

тельно высоковольтного определяется моментом отрыва фронта ударной волны от стримерного канала - в этот момент размер голографического изображения каждого стримера максимален; для разных ГСК это время находится в пределах $50 \div 300$ нс.

Исходя из условий работы на ускорителях к голографической части ПК и СК предъявляются следующие требования:

а/ Лазер

Лазер должен удовлетворять следующим требованиям:

- длина волны излучения - $460 \div 690$ нм во избежание применения кварцевой оптики и стекла;
- величина выходной энергии - около 10-800 миллджоуля при длительности лазерного импульса 5-30 наносекунд;
- частота срабатывания-до 50 Гц, короткое время накачки, маленький джиттер, большая повторяемость по энергии выходного импульса;
- большое время жизни используемой активной среды как источника лазерного излучения;
- термо-, вибро- и механоустойчивость в соответствии с условиями работы в залах ускорительных комплексов.

Существует несколько видов лазеров, отвечающих вышеуказанным требованиям:

- лазер на красителе, накачиваемый либо азотным, либо эксимерным лазером, либо лампой; в резонаторе лазера на красителе

может быть размещен эталон Фабри-Перо для увеличения длины когерентности;

- рубиновый лазер, но с улучшенными временами накачки.

б/ Схема голографирования

В разработанных на сей день ГПК и ГСК регистрация треков ведется в схеме in-line /габоровской/ голографии. Для уменьшения влияния турбулентности голографирование надо вести по возможности на самом близком расстоянии от камеры. Хорошее решение в этом направлении найдено в^{13/}, где применена специальная оптическая система, формирующая изображение камерного объема вне установки.

В работе^{14/} приведена схема регистрации треков в макете методом голографии сфокусированных изображений /рис.2/. Основные преимущества этой схемы сводятся к:

- высокому разрешению в восстановленных изображениях при небольших размерах голограмм;
- возможности увеличения расстояния от камеры до фотопленки;
- отсутствию перекрестных изображений;
- независимости качества восстановления изображений от усадки фотоэмульсии после обработки;
- возможности вести восстановление в некогерентном свете, сохраняя высокое пространственное разрешение.

В разработанных ГСК кроме голографии применяется также метод лазерных тенеграм: тенеграммы треков частиц регистрируются объективом на фотопленке в уменьшенном масштабе либо с использованием промежуточного экрана^{15/}. В последнем случае фотообъектив наведен на резкость в плоскости промежуточного экрана, где лазерным пучком сформированы тени стримеров. Для дальнейшей обработки информации с тенеграм и определения расположения трека по глубине камеры они регистрируются либо одним лазерным излучением, расщепленным на два взаимно перпендикулярно поляризованных пучка, либо двумя лазерами с разными длинами волн /стереотенеграфия/.

В недавно проведенных экспериментах с большими ПК было показано, что применение голографии /по двухлучевой схеме/ позволяет улучшить их пространственное разрешение до ~40 мкм, т.е. на порядок.

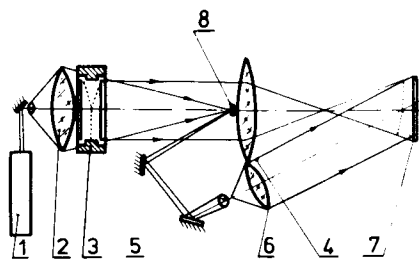


Рис.2. Схема регистрации треков в вершинном детекторе методом голографии сфокусированных изображений^{14/}. 1 - импульсный лазер, 2 - конденсор, 3 - объем камеры /ПК или СК/, 4 - линза, 5 - оптический делитель, 6 - коллиматор, 7 - фотопленка.

в/ Фотоэмульсия

В зависимости от используемой схемы голографирования - габоровской или двухлучевой - разрешающая способность фотоэмульсии должна находиться в пределах от 300 до 5000 лин/мм. Из зарубежных можно использовать специально разработанные для целей голографии фотоэмульсии фирм "Агфа", "Кодак", а из отечественных - П2, ГПВ-2, ГОИ, "Микрат-300", "Микрат-900", "Микрат-ВР", "Изопанхром-18". Спектральная чувствительность эмульсии должна соответствовать длине волны лазерного излучения.

Особое значение имеет вид и качество подложки, используемой для нанесения фотоэмульсии. Первые лабораторные испытания применения голографии в пузырьковых камерах проводились с помощью фотопластинок, но большая частота срабатывания камеры в условиях реального эксперимента исключает их применение, хотя с использованием фотопленки ухудшается разрешение. Поэтому особо важным становится способ прижима и перематки фотопленки, обеспечивающий ее равное перетягивание. Возможные способы прижима и перематки описаны в^{16/}.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ, ДОСТИГНУТЫЕ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ГПК И ГСК

В табл. 1 приведены значения величин разрешения и глубин резкости действующих малогабаритных с высокой частотой срабатывания / $f \geq 5$ Гц/ ГПК и ГСК. Для сравнения там же приведены аналогичные данные для камер с классическим съемом информации.

Как было указано, первая ГПК / \varnothing 11 см, $h = 5,5$ см/ регистрировала голограммы взаимодействий γ -квантов от синхротрона ЛИЯФ с фреоном в свете рубинового лазера в двухлучевой схеме с разрешением ~30 мкм по восстановленному изображению^{3/}.

На рис.3 показано восстановленное с голограммы изображение трека события неупругого взаимодействия высокоэнергетического π^- -мезона с фреоном^{4/}, зарегистрированного в пузырьковой камере ВВС / \varnothing 6,5 см, $h = 3,5$ см/. При глубине резкости ≥ 9 см голограмма, зарегистрированная рубиновым лазером, восстанавливает изображения пузырьков диаметром 6 мкм.

На созданной в ЦЕРНе фреоновой камере НОВС/11x5x6 см^{3/} на пучке синхротрона SPS было получено 40 тысяч голограмм с использованием лазера на красителе кумарин-307, накачиваемого эксимерным лазером^{12/}. Целью этого первого полномасштабно-голографического эксперимента является изучение энергетической зависимости сечений образования очарованных частиц высокоэнергетическими адронами.

В гелиево-метановой стримерной камере /отношение $He:CH_4 = 70:30$ /, работающей в режиме самошунтирования при атмосферном давлении, было зарегистрировано более 2 тысяч лазерных тенеграм взаимодействий протонов с энергией 1 ГэВ от ускорителя ЛИЯФ /установка СКАЛАР^{21/}/.

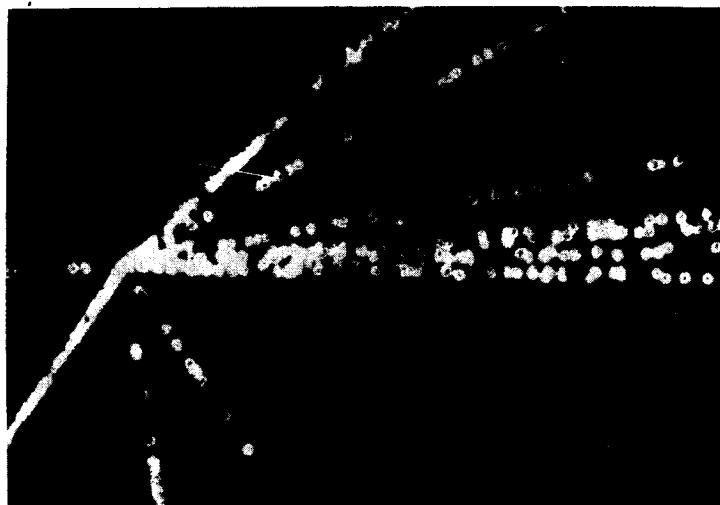
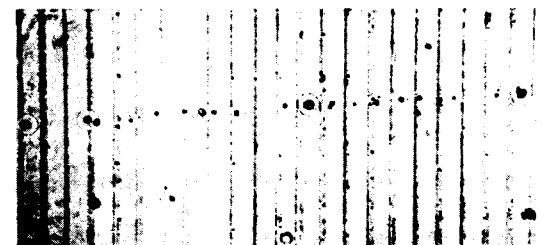


Рис.3. Восстановленное с голограммы изображение события неупругого взаимодействия высокоэнергетического π^- -мезона с фреоном ⁴/, зарегистрированного в пузырьковой камере ВВС. Размер пузырька 8 мкм.

Таблица 1

Вид камеры	Рабочая среда	Метод съема информации	Разрешение /мкм/ и глубина резкости /мм/	Ссылка	
Пузырьковая	Жидкий H_2 $\rho = 0,06 \text{ г/см}^3$	Стереодограф	20; 2	12	
		Стереодограф	30; 5	17	
	Фреон C_3F_8 $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$	голография	6; >90	4	
		голография	30; 55	3	
		голография	<60; >40	18	
Стримерная	$He:CH_4(7/3)1 \text{ атм}$	лаз.тенеграм.	380, 30	21	
		$D_2+0,1\%CH_4+$ $+0,05\%H_2O$	5 атм	лаз.тенеграм.	<100; 15
	He	5 атм	лаз.тенеграм	<100; 15	10
		$He:CH_4(2/1)3,5 \text{ атм}$	голография	~60; 23	11
		$He:Ne(1/9)40 \text{ атм}$	стереоф. с ЭОП	50; 4,5	19
		$He:Ne(3/7)20 \text{ атм}$	стереоф. с ЭОП	<70; 23	20

Рис.4. Тенеграмма трека электрона от радиоактивного источника ⁹⁰Sr в дейтериевой ГСК при давлении 5 атм /примеси: 0,1% CH_4 , 0,05% H_2O / ⁹/. Длина трека -3 см.



На рис.4 показана тенеграмма треков электронов в дейтериевой ГСК при давлении 5 атм /добавки: 0,1% CH_4 , 0,05% H_2O / ⁹/. В ней было достигнуто разрешение ~100 мкм по отдельному стримеру. Регистрация велась светом лазера на красителе родамин-6Ж с длиной когерентности ~70 мкм, накачиваемого импульсным лазером на азоте ²²/. Камера работала в режиме самощунтирования.

5. ОБРАБОТКА ГОЛОГРАММ С ГПК И ГСК

Поскольку сама голограмма является оптическим и спектральным элементом, она обладает оптической и спектральной разрешающей способностью /р.с./ ²³/:

$$\text{поперечная р.с.} \quad \delta x = 1,54 \frac{\lambda z_1}{D},$$

$$\text{продольная р.с.} \quad \delta z \sim \frac{1}{\Delta \lambda} = \frac{\lambda z_1}{L_{\text{ког.}}} = \frac{z_1}{NL_{\text{ког.}}},$$

$$\text{спектральная р.с.} \quad \delta \lambda = \frac{\lambda}{N},$$

где z_1 - расстояние от объекта до голограммы, D - размер голограммы, $\Delta \lambda$ и $L_{\text{ког.}}$ - спектральная полоса излучения и длина когерентности используемого для регистрации лазера, N - разрешающая способность используемой фотоэмульсии. Надо подчеркнуть, что разрешающая способность голограммы задается во время регистрации и зависит от параметров используемого лазера, разрешающей способности и других характеристик фотоэмульсии, вида и качества подложки, процесса фотохимической обработки.

Поэтому для полного съема информации с голограмм к системам их обработки предъявляются высокие требования. Поиск интересных событий и их измерения ведутся по восстановленному с голограмм действительному трехмерному изображению, и поэтому приборы для просмотра и измерений должны быть трехкоординатными. При этом требуется сильное увеличение изображения, что напоминает случай обработки информации с ядерных фотоэмульсий с помощью микроскопа. Как и там, изображение обрабатывается "послойно", с небольшой глубиной резкости.

Первое устройство, созданное на основе микроскопа УИМ-21 с газовым лазером для освещения голограмм, описано в работе^{/24/}. Восстановленное изображение камеры проектируется на небольшой подвижный матовый экран. Вся обработка велась визуальным способом.

В настоящее время в связи с вводом в эксплуатацию в ЦЕРНе и ЛИЯФе^{/18/} прецизионных голографических пузырьковых и стримерных камер там же, а также в сотрудничающих с ними лабораториях активно разрабатываются приборы для обработки голограмм с использованием телевизионной техники, что устраняет недостатки визуальной обработки: исчезает спекл вследствие усреднения по времени, цвет изображения на дисплее может быть подобран по желанию оператора, а высокая чувствительность передающей трубки /видикона/ позволяет ограничиться лазером мощностью всего в несколько мВт. Кроме того, телевизионная техника дает дополнительные возможности увеличения изображения и даже применения разных увеличений в двух взаимно перпендикулярных направлениях /анаморфизм/. В связи с тем, что для поиска событий удобно видеть целиком весь объем камеры, в создаваемых системах обработки голограмм предусматриваются два разных увеличения: одно для общего просмотра и поиска событий, второе для поиска распадов короткоживущих частиц вблизи вершины первичного взаимодействия. Или же используется объектив с переменным фокусным расстоянием /"zoom"/, позволяющий плавно менять увеличение. Пленка с голограммой размещается, как правило, на двухкоординатном измерительном столике и крепится вакуумной системой или прижимным стеклом. Эта часть прибора заимствуется у измерительных приборов для обработки обычных стереоснимков с пузырьковых и стримерных камер. Измерение третьей координаты /глубины/ реализуется по-разному: а/ на основном двухкоординатном измерительном столике ставится дополнительная система для вертикального передвижения пленки, б/ выбор глубинного слоя голограммы проводится путем перемещения самого видикона, в/ вводится зеркало, которое проектирует изображение на фотокатод видикона /рис.5/. При голографировании по схеме Габора продольное разрешение по глубине камеры значительно хуже, чем поперечное, что снижает требования к точности системы измерения z-координаты.

На рис.5 показана оптическая схема одного из действующих приборов HOLMES /ЦЕРН/^{/25/}. Прибор HOLMES, как и другие приборы для обработки голограмм, подключен к управляющей ЭВМ и после ручного наведения на трек способен автоматически перемещаться вдоль него в трехмерном пространстве с целью измерения характеристик трека и поиска изломов, которые могут быть проявлением распада короткоживущих частиц.

Среди идей, выдвигаемых в связи с обработкой голограмм от трековых приборов, стоит упомянуть использование трехцветного телевизионного монитора^{/26/}. К каждому цветному каналу монитора подсоединена черно-белая телевизионная камера, передающая

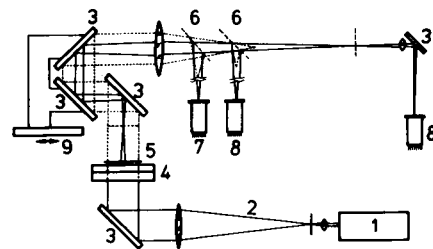
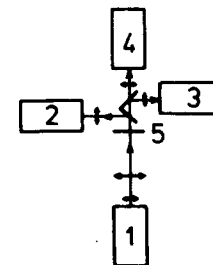


Рис.5. Оптическая схема прибора для обработки голограмм HOLMES^{/25/}. 1 - аргонный лазер, 2 - система формирования светового пучка, 3 - зеркала, 4 - измерительный столик "X, Y", 5 - голограмма, 6 - делители пучка, 7 - анаморфная телевизионная камера, 8 - стандартные телевизионные камеры, 9 - измерительный столик "Z".

Рис.6. Система обработки голограмм с применением трехцветного телевизионного монитора^{/26/}. 1 - лазер, 2 - телевизионная камера красного канала, 3 - телевизионная камера синего канала, 4 - телевизионная камера зеленого канала, 5 - голограмма^{/26/}.



изображение отдельного слоя голографического изображения камерного объема - рис.6. Такая система, обеспечивая ориентацию перемещения по глубине, облегчает просмотр голограмм.

Кроме того, отмечалась возможность обработки голографической информации без восстановления изображения, но этот подход, очевидно, требует сложных алгоритмов и ЭВМ с очень большой памятью.

Поскольку в ГСК пока регистрируются только тенеграммы, которые не очень отличаются от обычных стереофотоснимков, то их можно обрабатывать на существующих стандартных двухкоординатных измерительных приборах. В работе^{/15/} приведены формулы, определяющие пространственное положение трека в ГСК в зависимости от координат его теневых проекций и геометрических параметров системы освещения и фотографирования с использованием промежуточного экрана.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последние открытия в физике высоких энергий, а именно, наблюдение семейства короткоживущих элементарных частиц, обладающих новым квантовым числом - шармом /очарованием/, а также теоретические и экспериментальные указания на существование короткоживущих частиц других видов, вызвали интерес к развитию детекторов с высоким пространственным разрешением. Время жизни

новых частиц $\sim 10^{-18} - 10^{-12}$ с, что соответствует пробегам в пределах 30-300 мкм /для нерелятивистских энергий/, а сечения их генерации малы - на уровне микробарн или десятков микробарн. Анализ таких сложных событий требует применения трековых детекторов с высоким пространственным разрешением: ~ 10 мкм или даже лучше. Этим требованиям отвечают быстроциклирующие пузырьковые камеры с голографическим съемом информации. В пузырьковой камере регистрируется точка взаимодействия, что дает возможность детального осмотра ближайшей окрестности вершины и выявления распадов короткоживущих частиц. Расположенный за вершинным детектором спектрометр позволяет идентифицировать вторичные частицы /в том числе и продукты распада короткоживущих частиц/ и измерять их импульсы. Применение голографического съема информации решает здесь задачу получения требуемого пространственного разрешения /на уровне ≤ 10 мкм/ в полном объеме вершинного детектора /в случае применения классической фоторегистрации предельное разрешения ~ 20 мкм, можно получить только в тонком слое 2 мм, что сильно снижает эффективность вершинного детектора/.

Применение в качестве вершинных детекторов пузырьковых камер с голографическим съемом информации и высокой частотой срабатывания будет, несомненно, продолжаться и развиваться.

Голографический съем информации возможен также и в камерах среднего и большого объема. В больших камерах, по-видимому, голографирование будет проводиться по двухлучевой схеме либо с помощью вогнутого зеркала, расположенного внутри камеры. Предусматривается использование таких камер в адронных, фотонных и нейтринных пучках^{/27/}.

Стримерные камеры являются управляемыми детекторами, и хотя они уступают пузырьковым камерам по разрешению, есть возможности его улучшения. Увеличение пространственного разрешения может быть достигнуто повышением давления в камере и лазерным освещением ее объема с последующей регистрацией голограмм следов частиц. При повышении давления растет плотность числа первичных ионов, уменьшается диффузия электронов, образующихся по следу проходящей частицы, в результате чего уменьшается ширина следа частицы и среднеквадратичное отклонение центров изображения стримеров от кривой, аппроксимирующей

трек частицы $\sigma = \sqrt{\frac{2D_0P_0}{P}t}$, где σ - среднеквадратичное отклонение,

D_0 - коэффициент диффузии электронов в газе при атмосферном давлении P_0 , t - время диффузии, P - рабочее давление.

О преимуществах голографического съема информации со стримерных камер можно судить по табл. 2^{/21/}:

Таблица 2

Протоны с энергией 1 ГэВ	размер стримера /мм/		средне-квадрат. отклонен. /мм/	точность локализации	плотность стримеров
	вдоль поля	поперек поля			
фото	1,53 \pm 0,04	6,2 \pm 0,4	0,240	0,021	2,5 \pm 0,5
лазер	0,38 \pm 0,01	2,5 \pm 0,1	0,195	0,011	8,2 \pm 0,6

На пути развития голографической пузырьковой и стримерной камеры к настоящему моменту решены следующие проблемы: созданы лазеры с необходимыми параметрами и фотоэмульсии с нужной подложкой и разрешением, накоплен большой экспериментальный опыт, налажены первые столы для обработки информации с голограмм таких камер и т.д. Обработка голографической информации требует новой техники, и соответствующие приборы разрабатываются во многих лабораториях.

Таким образом, применение голографии в пузырьковых и стримерных камерах приводит к:

- увеличению разрешения по восстанавливаемому с голограмм изображению пузырька и стримера до величины, определяемой критерием Аббе-Релея,
- увеличению глубины резкости восстановленного изображения камеры до нескольких метров,
- сокращению времени набора массивов статистических данных о взаимодействиях элементарных частиц,
- удешевлению экспериментов,
- возможности исследования взаимодействий с малыми сечениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комар А.П., Стабников М.В., Турухано Б.Г. Материалы семинара по камерной методике, ОИЯИ, Дубна, 1965, с. 7.
2. Welford W.T. Appl. Optics, 1966, v. 5, p. 872.
3. Комар А.П., Стабников М.В., Турухано Б.Г. ДАН СССР, 1967, 174/5/, с. 1052.
4. Dykes M. et al. Nucl. Instr. Meth., 1981, v. 179, p. 487.
5. Proc. Hybrid Spectrometer Workshop on Holography and High Resolution Techniques, CERN 82-01, Geneva, 1982.
6. Кулюкин М.М. и др. ЛИЯФ, №36, Ленинград, 1973.
7. Будзак А. и др. ОИЯИ, 1-80-299, Дубна, 1980.
8. Kozlov V.S. et al. Nucl. Instr. Meth., 1977, v. 140, p. 125.

9. Иванов И.Ц. и др. ОИЯИ, P13-83-154, Дубна, 1983.
10. Будзьяк А. и др. ОИЯИ, P13-82-160, Дубна, 1982.
11. Eckardt V. et al. CERN/EP 83-10, Geneva, 1983.
12. Benichou J.L. et al. CERN/EP 83-15, Geneva, 1983.
13. Herve A. et al. Nucl.Instr.Meth., 1982, v. 202, p. 417.
14. Мельниченко А.И., Силаев В.И. ИТЭФ-9, М., 1981.
15. Томбак М.А. ЛИЯФ, №766, Л., 1982.
16. Proc. Meeting on the Application of Holographic Techniques to Bubble Chamber Physics, RL-81-042, Rutherford and Appleton Labs., 1981.
17. Ramseyer E. et al. Nucl.Instr.Meth., 1982, v. 201, p. 335.
18. Баканов Л.В. и др. ЛИЯФ, №829, Л., 1983.
19. Sandweiss J. Phys.Rep.C, 1982, v. 83, p. 39.
20. Eckardt V., Wenig S. In: CERN 82-01, Geneva, 1982, p. 23.
21. Калимов А.Г. и др. ЛИЯФ, №407, Л., 1978.
22. Бартке Е., Иванов И.Ц., Экснерова Я. ОИЯИ, P13-83-198, Дубна, 1983.
23. Островский Ю.А. Оптическая голография, Л., "Наука", 1970.
24. Стабников М.В. В кн.: Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер, ОИЯИ, Д10-6142, Дубна, 1971, с. 448.
25. Drevermann H., Geissler K.K. In: CERN 82-01, Geneva, 1982, p. 200.
26. Lutz J.R. In: CERN 82-01, Geneva, 1982, p. 186.
27. Pless I.A. In: RL-81-042, Rutherford and Appleton Labs., 1981, p. 240.

Бартке Е., Иванов И.Ц., Щербаков Ю.А. P1-83-742
 Применение голографии в трековых детекторах высокого разрешения /пузырьковые и стримерные камеры/

В обзоре изложены физические принципы и основы техники создания трековых детекторов высокого разрешения на основе применения голографии в пузырьковых и стримерных камерах. Описаны разрабатываемые и действующие установки с голографическим съемом информации и показаны возможности их использования для исследования короткоживущих частиц. В маленькой пузырьковой фреоновой камере было достигнуто разрешение 6 мкм на глубине нескольких сантиметров. Камера используется в ЦЕРНе в качестве вершинного детектора гибридного спектрометра. В ОИЯИ на лабораторных макетах показана возможность регистрации стримеров электронов размером 80-100 мкм в водородной и дейтериевой стримерных камерах при давлении 2 и 5 атмосфер. Лазерная стримерная камера, заполненная смесью водорода и метана и помещенная в магнитное поле, используется как вершинный детектор на синхротроне ЛИЯФ^{1/21}. Описаны системы для обработки голограмм с трековых детекторов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем и Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Bartke J., Ivanov T.S., Shcherbakov Yu.A. P1-83-742
 Application of Holography for High Resolution Track Detectors in High Energy Physics - Bubble and Streamer Chambers

Underlying physical principles and general problems of the development of high-resolution track detectors, bubble and streamer chambers using holography are described. Holographic devices, both, operational and being developed, are described with possibilities of their use in the investigation of short-lived particles. In a small freon bubble chamber a spatial resolution of 6 mkm has been achieved over a depth of several cm. Such a chamber is used at CERN as the vertex detector of a hybrid spectrometer. In laboratory streamer chamber models at JINR, Dubna streamers with a 80-100 mkm diameter of electron tracks in hydrogen and deuterium have been registered at a 2 and 5 atm pressure. A laser streamer chamber filled with a hydrogen-methane mixture has been used as a vertex detector at the LIMP synchrotron, Leningrad. Systems for holographic information processing are described.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Physics and Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод авторов