

548708176

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 86-106
ОЭА/ОЭИПК

Ю.А.Белокопытов, А.П.Воробьев, В.А.Гончаров,
Э.П.Кистенев, Ю.Л.Куркин, В.Д.Лонгинов,
Н.Г.Минаев, Г.Д.Некипелова,
В.И.Рыбаченко, В.Д.Юрпалов

ОСОБЕННОСТИ ПРОСМОТРА И ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕКТОВ
ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА ГОЛОГРАММАХ ГАБОРА

Серпухов 1986

Аннотация

Белокопытов Ю.А., Воробьев А.П., Гончаров В.А. и др. Особенности просмотра и измерений объектов высокого пространственного разрешения, зарегистрированных на голограммах Габора: Препринт ИВЭ 86-106. - Серпухов, 1986. - 8 с., 1 табл., библиогр.: 13 назв.

В работе рассматриваются особенности просмотра и измерения голограмм Габора, анализируются точностные характеристики оптико-телевизионной схемы, обсуждаются функциональные возможности и технические характеристики специализированного оборудования, необходимого для автоматизированной обработки голограмм.

Abstract

Belokopytov Yu.A., Goncharov V.A., Vorobiev A.P. et al. Scanning and Measuring Peculiarities for High-Space Resolution Objects Recorded at the Gabor Hologrammes: IHEP Preprint 86-106. - Serpukhov, 1986. - p. 8, 1 table, refs.: 13.

Peculiarities of viewing and measuring reconstructed images with Gabor's holograms are discussed. The accuracy of the combined optical and TV scheme and the method of measuring are analysed. Some recommendations for the choice of the technical characteristics of special hardware for holograms automated processing are proposed.

ВВЕДЕНИЕ

Успехи методов регистрации и анализа многотрековых конфигураций в электронных трековых детекторах, связываемые с развитием технологии больших многопроволочных камер и ростом надежности регистрирующей электронной аппаратуры, позволили подойти по-новому к выбору конфигурации экспериментальных установок. Традиционным стало деление функций топологического и спектрометрического анализа между специализированным вершинным детектором ("живой мишенью") и спектрометром вторичных частиц, состав которого определяется сложностью изучаемых процессов.

Одно из наиболее простых и удачных решений проблемы вершинного детектора, обеспечивающее 4 π -геометрию опыта и прецизионный анализ событий в околорышнинной области, связано с применением пузырьковых камер. Отказ от принципа замкнутости в экспериментах с пузырьковыми камерами позволил сосредоточить усилия на повышении разрешения. Это привело к созданию экстремально малых камер (длина чувствительной области 5-10 см) с размерами фотографируемых пузырьков 5-15 мкм и плотностью 80-200 см⁻¹. Фотографирование пузырьков с диаметром большим 10 мкм вполне возможно с применением классической (обычной) оптики, однако, регистрация пузырьков с диаметром меньшим 10 мкм (что крайне важно для оптимизации условий обнаружения распадов короткопробежных частиц с временем жизни порядка 10⁻¹² с) требует специальных решений.

Среди известных методов фоторегистрации объема пузырьковых камер только голография обеспечивает требуемое разрешение. Существенно, что голографический метод позволяет разделить проблемы глубины резкости и латерального разрешения, жестко связанные

в классической оптике/1/. Одинаковое разрешение по всей глубине рабочей области открывает путь к существенному повышению загрузки пузырьковой камеры первичными частицами (до $5 \cdot 10^2$ на снимок).

В 1981 году была создана и впервые испытана тяжеложидкостная голографическая камера НОВС/2,3/. Использование камер НОВС в качестве верхнего детектора в эксперименте NA25/4/ инициировало разработку в ряде европейских научных центров специализированного просмотрово-измерительного оборудования/5-7/ для обработки снимков с голографических камер. Аналогичные работы ведутся в ИВЭЗ с 1982 года.

ПРОСМОТР И ИЗМЕРЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ГОЛОГРАММ

Со времени появления первых снимков с пузырьковой камеры геометрическая реконструкция трехмерной картины производится по результатам обмера стереопрооекций. Приципиальная особенность голографии - возможность восстановления трехмерного изображения - позволяет отказаться от работы со стереопроекциями и вести опцировку непосредственно объемных изображений. Наличие двух сопряженных восстановленных изображений (действительного и мнимого) предоставляет определенную свободу для организации обработки: может быть использовано либо действительное, либо мнимое изображение, либо оба вместе.

В камере НОВС используется схема Габора получения осевых голограмм. Недостатком габоровских голограмм является суммарный характер светового поля, формирующего восстановленное изображение: наряду с полезной составляющей в каждой точке поля присутствует сопряженная световая волна и недифрагированная волна коллимированного когерентного света. Влияние вклада сопряженной световой волны на качество изображения наиболее существенно, если геометрические размеры изображения объекта сравнимы с расстоянием от области его локализации до голограммы, что характерно для реперов, ближайших к голограмме. Для улучшения качества изображения желательно или устранение влияния сопряженной волны/8/ (при этом второе изображение не используется), или решение задачи взаимной фильтрации сопряженных волн (если предполагается использовать каждое из сопряженных изображений). Фильтрация третьей со-

ставляющей волнового поля улучшает изображение независимо от размеров объектов и их локализации относительно голограммы (увеличивается контраст за счет понижения фоновой засветки изображения).

Решение проблемы визуального анализа восстановленного изображения может быть двояким. С одной стороны, вполне возможно сохранение схемы просмотра, предельно приближенной к схеме просмотра снимков с классических пузырьковых камер (при этом необходимо переносить увеличенное трехмерное изображение в объем перед оператором). Такое решение оказывается практически трудно реализуемым, поскольку требуемого коэффициента увеличения ($200^{\times} \div 300^{\times}$) при большой глубине резкости можно добиться лишь используя специальную высококачественную оптику и мощный лазер непрерывного действия, эксплуатация которого в режиме массовой обработки голограмм вызовет определенные трудности.

Наиболее проста и быстро реализуема схема с проецированием среза изображения на видикон телевизионной камеры и выводом его на экран TV-монитора/6/. Последовательным применением оптического и электронного способов увеличения удастся снять проблемы, связанные с ограниченным разрешением видикона, и повысить качество изображения за счет ввода в оптический канал фильтрующих элементов. Пространственная фильтрация/6/ позволяет в значительной мере избавиться как от фоновой засветки видикона недифрагированной волной коллимированного когерентного света, так и от изображений объектов с размерами, существенно превышающими размеры исследуемых пузырьков (пыль, грязь и паразиты на фотоматериале голограммы и оптических поверхностях, изображения турбулентностей и неоднородностей в голографируемом объеме камеры и т.п.).

В оптико-телевизионном канале происходят преобразования изображения, сопровождающиеся неизбежными искажениями. Считая голограмму идеальной, а искажения в телевизионном канале пренебрежимо малыми (поскольку в рассматриваемой схеме измеряемое изображение пузырька всегда локализовано в одной и той же ограниченной области экрана TV-монитора), оценим величину погрешности метода измерения истинных координат, снятых на голограмму пузырьков.

Предполагая, что объектом голографирования в параллельном пучке является пузырек диаметром a и что длины волн лазерного света при записи и восстановлении голограммы равны λ_0 и λ_B , соответственно, запишем поперечное и продольное (вдоль оптической

оси z) увеличение при переходе от объекта к его восстановленному изображению/9/:

$$M_{x,y} = 1; \quad M_z = \pm \lambda_0 / \lambda_B. \quad (1)$$

Реальный размер изображения пузырька, восстановленного в пространстве с голограммы, полученной методом Габора, совпадает с размером фотографируемого пузырька в плоскости, параллельной плоскости голограммы. Размер разрешаемого изображения пузырька вдоль лазерного луча определяется выражением/9/

$$\Delta z_B = M_z \cdot d / \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где: $\operatorname{tg} \alpha = 1,22 \cdot \lambda_B / d$, α - угол дифракции. Малость угла дифракции α приводит к размытию восстановленного трехмерного изображения по глубине. Из (1) и (2) получаем

$$\Delta z_B = \lambda_0 \cdot d^2 / (1,22 \cdot \lambda_B^2).$$

Глубина резкости изображения восстановленного пузырька при его передаче через проекционную систему на видикон определяется волновыми и геометрическими свойствами света/10/:

$$\Delta z_{\Pi} = (\Delta z_{\text{волн}}^2 + \Delta z_{\text{геом}}^2)^{1/2},$$

где: $\Delta z_{\text{волн}} = \lambda_B / (2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha)$, $\Delta z_{\text{геом}} = \delta / v \cdot \operatorname{tg} \alpha$, δ - разрешение видикона, v - увеличение используемой оптики.

Общая погрешность, вносимая системой восстановления трехмерного изображения с голограммы совместно с обычной процедурой наводки на резкость, в рассматриваемой схеме оценивается величиной

$$\sigma_z = (\Delta z_B^2 + \Delta z_{\Pi}^2)^{1/2}.$$

d (мкм)	Δz_B (мкм)	v^k	Δz_{Π} (мкм)	σ_z (мкм)
5	30	I	135	140
		8	20	40
10	110	I	275	300
		8	60	125

Результаты оценочных расчетов для $\lambda_0 = 0,54$ мкм, $\lambda_B = 0,63$ мкм, $\delta = 20$ мкм (характерных для доступных лазеров и видиконов) и разных значений d и v приведены в таблице.

σ_z соответствует величине зоны по глубине восстановленного объемного изображения, каждое

сечение которой плоскостью, параллельной голограмме, дает достаточно резкое изображение пузырька на экране TV-монитора. Деле-

нием пополам этой зоны можно уменьшить погрешность измерений вдвое; дальнейшее повышение точности измерений без применения специальных средств (например, регистрации второй голограммы под углом $90^\circ/\Pi/$) не представляется возможным. Погрешность измерения координат X , Y зависит только от шага дискретности отсчетных систем. Ясно, что шаг дискретности не должен быть больше половины диаметра пузырька ($\Delta = d/2 = 2,5$ мкм).

Полученные оценки погрешности метода определения координат пузырьков в рассматриваемой схеме обработки вполне приемлемы для организации качественного просмотра голограмм, а для пузырьков диаметром порядка 5 мкм и оптического увеличения проекционной системы 8^X уже возможны измерения трехмерных координат с хорошей точностью. Положение измеряемого объекта по глубине восстановленного с голограммы объема может определяться по положению плоскости наилучшей фокусировки, поиск которой осуществляется визуально по изображению на экране TV-монитора. Существенно, что направление перемещения плоскости наилучшей фокусировки можно определить только методом проб и ошибок. Однако существует принципиальная возможность использования трех телекамер, настроенных на три близкие равноотстоящие плоскости в объектном пространстве, изображения с которых проецируются в разных цветах на экран цветного TV-монитора/5/. Расстояние между крайними плоскостями при этом не должно превышать S_z . Направление перемещения будет определяться из сравнения качества изображений разной цветности. Для измерения координат в плоскости, параллельной голограмме, необходима система прецизионного визирования, измерительное перекрестие которой проецируется на видикон телекамеры.

В работе/7/ было показано, что детальный анализ околосверхней области значительно упрощается, если есть возможность производить растяжку телеизображения в направлении, перпендикулярном пучковому треку. Анаморфизм изображения до 4-х легко достигается изменением амплитуды строчной развертки TV-камеры (т.е. длины строки сканирования на мишени видикона); большие значения требуют применения специальных телевизионных устройств или цифрового преобразования телевизионного сигнала. В последнем случае можно достаточно просто организовать области локального увеличения (линзы), например, в районе вершины или излома, или различные увеличения изображения в зависимости от положения

телевизионной строки ("центральные" проекции), что становится необходимым при поиске распадов частиц с малым временем жизни (менее 10-12 с) и обычных странных частиц, связанных с изучаемым первичным взаимодействием, а также изломов в условиях большой загрузки камеры.

Поиск распадов частиц с малыми временами жизни не составляет особой проблемы, поскольку соответствующие вершины, с вероятностью близкой к 100%, лежат в цилиндре радиусом порядка 1 мм вокруг направления пучкового трека. Поиск распадов обычных странных частиц является более сложной проблемой. Осуществление такого поиска требует объемного сканирования довольно большой пространственной области и значительных затрат времени. Поэтому необходимо иметь несколько сменных увеличений в одном оптическом канале с целью расширения зоны просмотра за счет уменьшения оптического увеличения или иметь несколько оптико-телевизионных каналов с разным масштабом изображений на экранах TV-мониторов. Во время просмотра часто необходимо проследивать треки по всей длине на расстоянии до 10 см (продольный размер голограммы с камеры НОВС) для локализации событий и изломов. Получить качественное уменьшенное изображение таких треков целиком на экране TV-монитора представляется невозможным из-за низкого разрешения видикона. Поэтому размер просматриваемой зоны ограничен. На экран передается изображение части трека и требуются значительные, по сравнению с видимым объемом, относительные перемещения систем восстановления и проецирования. Возникает необходимость перехода во время длительных перемещений от произвольного движения в трехмерном пространстве к перемещению по ориентированному вдоль трека вектору, что требует определенных вычислительных ресурсов. Движение по вектору полезно также при поиске изломов на треках. Уход трека от измерительного перекрестия на экране TV-монитора во время движения по вектору может сигнализировать о наличии излома на треке/6/.

Опыт создания в ИФВЭ системы управления проекторами ПУОС2М, ПУОС4/12/ с МЭВМ и адаптация уже созданного программного обеспечения этой МЭВМ позволяют существенно сократить сроки создания прибора и упростят введение его в существующую в ИФВЭ систему обработки filmовой информации/13/.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает, что для обработки событий высокого пространственного разрешения, зарегистрированных на голограммах Габора, может быть рекомендована опико-телевизионная схема с проецированием среза восстановленного трехмерного изображения на видикон TV-камеры и выводом его на экран TV-монитора, использующая последовательно оптическое и телевизионное увеличение. Для измерений координат в плоскости XY, параллельной голограмме, рекомендуется способ прецизионного визирования с использованием измерительного перекрестия, спроецированного на видикон TV-камеры; для измерения Z-координаты - способ наводки на плоскость наилучшей фокусировки. Оценка погрешности метода определения Z-координаты пузырька диаметром 5 мкм составляет:

20 мкм при оптическом увеличении 8,

70 мкм при оптическом увеличении 1.

Погрешность измерения координат X, Y определяется шагом дискретности отсчетных систем, который должен быть меньше 2,5 мкм.

Ускорению обработки голограмм, повышению качества результатов обработки и созданию комфортных условий труда оператора может способствовать использование

- нескольких оптических увеличений или нескольких разномасштабных опико-телевизионных каналов;
- пространственной фильтрации при просмотре;
- анаморфотности телеизображения;
- специальных режимов перемещения плоскости наилучшей фокусировки в пространстве;
- цифрового телевидения с цифровым способом обработки теле-сигнала.

Литература

1. Hermance A., Raeymaekers B. - In: Proc. of a Meeting on the Application of Holographic Techniques to Bubble Chamber Physics; RL-81-042, p. 151-159 (1981).
2. Dykes M. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1981, v. 179, p.487.
3. Herve A. - RL-81-042, p. 41-48 (1981);
Herve A. et al. - Photonic applied to Nuclear Physics: 1, CERN 82-01, p. 47-55 (1982).

4. Baland J.F. et al. - CERN/SPSC/80-120, SPSC/P 155 (1980).
5. Lutz J.R. - RL-81-042, p. 109-117 (1981).
Walton L. - RL-81-042, p. 140-150 (1981).
Cence R.J. et al. - CERN 82-01, p. 209, 213 (1982).
6. Drevermann H., Geissler K.K. - CERN 82-01, p. 200-208 (1982);
Drevermann H. - CERN/EP/04174 (1981);
Drevermann H. - RL-81-042, p. 117-133 (1981).
7. Lutz J.R. - CERN 82-01P, p. 186-199 (1982).
8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1970.;
Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. - М.: Мир, 1973.
9. Миллер М., Голография. - Л.: Машиностроение, 1979.
10. Федин Л.И., Барский И.Я., Микрофотография. - Л.: Наука, 1971.
11. Козубский Э.В. и др. Схема обработки голограмм следов частиц по стереоспроекции восстановленной модели. - Препринт ОИЯИ, ДПО-83-848, Дубна, 1983.
12. Курпалов В.Д. - Препринт ИФВЭ 80-93, Серпухов, 1980;
Гончаров В.А., Куркин Ю.Л., Лонгинов В.Д. и др. - Препринт ИФВЭ 85-39, Серпухов, 1985.
13. Белокопытов Ю.А., Воробьев А.П., Гончаров В.А. и др. - Препринт ИФВЭ 79-176, Серпухов, 1979.

Рукопись поступила 26 марта 1986 года.

Ю.А.Белокопытов и др.

Особенности просмотра и измерений объектов высокого пространственного разрешения, зарегистрированных на голограммах Габора.

Редактор Н.П.Ярба. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор Т.Д.Галкина.

Подписано к печати 17.06.86. Т- 11570. Формат 60х90/16.
Офсетная печать. Печ.л. 0,50. Уч.-изд.л. 0,50. Тираж 250.
Заказ 654. Индекс 3624. Цена 8 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов Московской обл.

Цена 8 коп.

Индекс 3624.

ПРЕПРИНТ 86-106, ИФВЭ, 1986.
