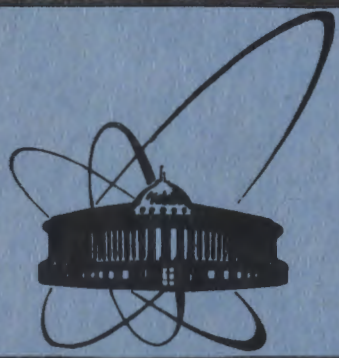


9/1-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

267/84

Д1-83-798

И.Ц.Иванов, В.И.Ляшенко, Д.Б.Понтекорво,  
Т.Тудор, И.В.Фаломкин, Н.Н.Хованский,  
Ю.А.Щербаков, Я.Яни, А.Трифонов,\*  
Т.Трошев,\* В.Христов\*

10-АТМОСФЕРНАЯ  
ГЕЛИЕВО-МЕТАНОВАЯ СТРИМЕРНАЯ КАМЕРА  
С ГОЛОГРАФИЧЕСКИМ СЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ

Направлено в "Nuclear Instruments and Methods"

---

\* ИЯИЯЗ БАН, София, НРБ

1983

## ВВЕДЕНИЕ

Голографический метод съема информации со стримерной камеры /СК/ не только увеличивает ее пространственное разрешение как трекового детектора, но и улучшает чувствительность: увеличивает плотность числа зарегистрированных стримеров на треке, притом с размерами, гораздо меньшими, чем при фоторегистрации /1/. Улучшение чувствительности связано с тем, что в СК с голографическим методом съема информации регистрация обусловлена не светимостью стримера, как в классических СК, а рефракцией и дифракцией лазерного излучения на оптических неоднородностях, возникающих в стримерных каналах /1,2/.

Таким образом, голограмма регистрирует отдельно, с высоким пространственным разрешением /~10 мкм/, близко расположенные яркие и неяркие стримеры. Надо заметить, что в классических СК из-за большого размера эмульсионного зерна /регистрация ведется на фотоэмульсии высокой светочувствительности/ происходит слияние изображений соседних стримеров и поэтому диаметр фотографического изображения стримера увеличивается, а плотность числа их на треке уменьшается. Сильное влияние на чувствительность оказывает давление: увеличение его приводит к уменьшению диаметра голографического изображения стримера и к увеличению плотности числа стримеров на треке /3-7/.

Одним из способов увеличения чувствительности метода голографического съема информации /ГСИ/ с СК является увеличение степени оптической неоднородности в стримерном канале при использовании рабочих смесей с большими рефракциями /2/. Известно, что гелий, хотя и является хорошим газом для работы с СК, однако характеризуется слабой рефракцией  $n-1 = 0,38 \cdot 10^{-4}$ , которая рассчитывается по формуле Коши /8/:

$$n-1 = A(1 + B/\lambda^2), \quad /1/$$

где  $A = 3,48 \cdot 10^6 \text{ см}^2$ ,  $B = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ см}^2$ ,  $\lambda = 575 \text{ нм}$  /длина волны излучения лазера на красителе Родамин-6Ж/.

С другой стороны, рефракцию смеси веществ можно определить, если известны рефракции ее компонент и их процентное содержание:

$$100(n-1) = c_1(n-1)_1 + c_2(n-1)_2 + \dots \quad /2/$$

С этой точки зрения метан является интересным газом, поскольку значение рефракции у него на порядок больше, чем у гелия:  $n-1 =$

$= 4,44 \cdot 10^{-4}$  /для  $\lambda = 575 \text{ нм}$ /. Кроме того, метан снижает фотоионизацию и число носителей зарядов по всему камерному объему, что улучшает локализацию следов в СК /8/.

Использованная нами рабочая смесь состояла из 25% метана и 75% гелия /оба газа брались с чистотой 99,99%/. Таким образом, при добавлении метана в указанном количестве значение рефракции для излучения лазера на красителе Родамин-6Ж / $\lambda = 575 \text{ нм}$ / стало равным  $n-1 = 1,39 \cdot 10^{-4}$ . С точки зрения техники стримерных камер смесь такого вида является более удобной из-за невысокой величины рабочего напряжения ГИНа даже при высоких давлениях. Камера с таким составом является хорошим детектором-мишенью в экспериментах для исследований взаимодействия  $\pi$ -мезонов с гелием и углеродом.

Нами исследовалось изменение диаметра и плотности числа оптических неоднородностей в стримерных каналах в зависимости от задержки лазерного импульса относительно высоковольтного импульса генератора импульсов напряжения /ГИН/, а также изменение тех же параметров от задержки высоковольтного импульса ГИНа относительно запускающего импульса от ФЭУ /рис.1/ при постоянной лазерной задержке 700 нс.

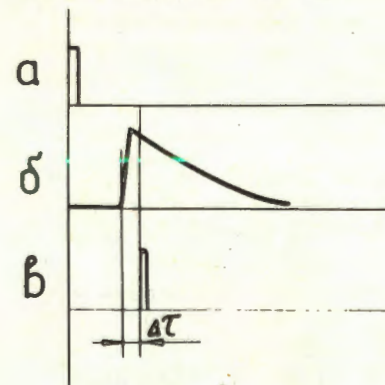


Рис.1. Временная диаграмма процессов, происходящих в стримерной камере с голографическим съемом информации. а - запускающий сигнал с ФЭУ, б - высоковольтный импульс, в - лазерный импульс.

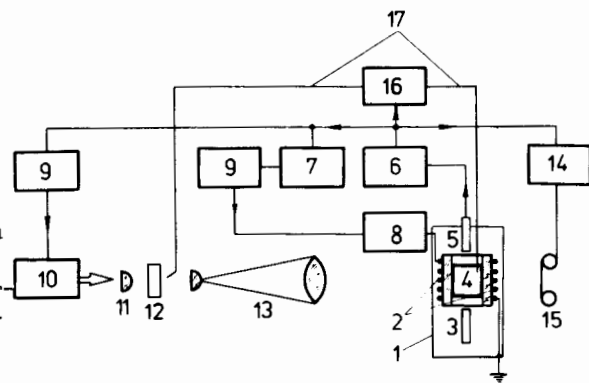
В работе приводятся результаты исследования чувствительности метода голографического съема информации /ГСИ/ с гелиево-метановой стримерной камеры при давлении смеси 10 атм. Эта работа является продолжением наших исследований о возможностях стримерной камеры с ГСИ, действующей в режиме самозащиты /3-7/.

Для изучения влияния давления на чувствительность метода исследования проводились с той же смесью и в той же камере после понижения давления в ней с 10 до 5 атм.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Техника эксперимента отличалась от описываемой в /5/ лишь тем, что был уменьшен шаг намотки электродов с 3 до 1,2 мм.

Рис.2. Схема регистрации. 1 - сосуд с азотом, 2 - высоковольтный и земляной электроды, 3 - радиоактивный источник  $^{90}\text{Sr}$ , 4 - стримерная камера, 5 - ФУУ, 6 - одновибратор, 7 - блок запуска ГИНа, 8 - ГИН, 9 - линия задержки, 10 - азотный лазер, 11 - кварцевая линза, 12 - кювета лазера на красителе



Родамин-6Ж, 13 - коллиматор, 14 - блок запуска фотокамеры, 15 - фотокамера, 16 - осциллограф С9-4, 17 - волоконные световоды.

Рис.3. Схема восстановления. 1 - гелий-неоновый лазер, 2 - коллиматор, 3 - голограмма, 4 - фотообъектив "Гелиос-40", 5 - матовый экран, 6 - фотокамера "Зенит".



Регистрация габоровских голограмм треков электронов от радиоактивного источника  $^{90}\text{Sr}$  велась на расстоянии 50 см от медианной плоскости камеры /рис.2/. Вслед за этим велась регистрация тенеграмм треков с использованием объектива "Гелиос-40". Голограммы и тенеграммы, а также восстановленное с голограмм изображение регистрировались на фотоземлюли "Микрат-300" чувствительностью 11 ед.ГОСТ. Восстановление изображения с голограмм производилось по схеме, представленной на рис.3. Голограммы освещались He-Ne лазером непрерывного излучения мощностью ~2 МВт. Фотографирование действительного изображения осуществлялось объективом "Гелиос-40" с насадочными кольцами. Для сравнительного определения размера восстановленного изображения оптической неоднородности, возникшей в стримерном канале, в плоскости формирования действительного изображения устанавливались непрозрачные полосковые миры с шириной 80 и 160 мкм, которые размещались так, чтобы восстановленное с голограммы изображение трека находилось между ними. Задержка лазерного импульса относительно высоковольтного составляла соответственно 0,2; 0,5; 0,8; 2 и 9 мкс. Треки регистрировались надежно спустя 200 нс после подачи высоковольтного импульса. Отделение фронта ударной волны от стримерного канала наблюдалось спустя ~900 нс после подачи высоковольтного импульса.

Измерения голограмм и тенеграмм производились на микроскопе УИМ-21. Треки электронов фотографировались также и без освещения камерного объема лазерным светом /т.е. классическим методом съема информации/ на фотоземлюли ИЗОПАНХРОМ-22 чувствительностью 1200 ед.ГОСТ /рис.7/.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### А. Восстановление голограмм

На рис.4 показана фотография голограммы трека электрона с радиоактивностью источника  $^{90}\text{Sr}$  в гелиево-метановой камере при давлении 10 атм. Задержка лазерного импульса относительно высоковольтного составляла 200 нс. Восстановленное с этой голограммы изображение трека показано на рис.5. Вверху и внизу видны фотоизображения обеих мир. Несмотря на сильную дифракцию лазерного излучения на проволочках электродов, голограмма зарегистрировала очень четкое дифракционное изображение оптической неоднородности каждого стримера. Влияние дифракции на проволочках электродов можно было уменьшить, размещая фотопленку непосредственно за СК, что являлось невозможным из-за наличия внешнего сосуда, в котором размещалась камера /во время экспозиции во избежание электрических пробоев сосуд заполнялся азотом при давлении 5 атм./ Полностью влияние дифракции на проволочках электродов можно устранить, используя в качестве высоковольтного и земляного электродов боковые стекла с проводящим покрытием. Во время восстановления, двигая голограмму вдоль оси  $z$  /или фотообъектив, сохраняя неподвижность голограммы /рис.2//, можно добиться последовательного восстановления изображения всей оптической неоднородности в стримерном канале. При определенном расстоянии между голограммой и плоскостью резкого изображения объектива, соответствующем расстоянию между фотопленкой и местом формирования шейки стримеров /т.е. в местах прохождения электронов от  $^{90}\text{Sr}$  /, с голограммы восстанавливалось изображение самого малого диаметра. На рис.5 показано зарегистрированное таким образом на фотопленке восстановленное изображение с голограммы, показанной на рис.4.

Поскольку длина когерентности используемого нами лазера на красителе Родамин-6Ж составляла ~70 мкм<sup>19</sup>, то глубина резкости восстановленного с голограммы изображения оптической неоднородности составила ~1,5 мм, что и было подтверждено экспериментально /малая длина когерентности ограничивает и диаметр голограммы<sup>19</sup>/. Из-за сильного перекрестного влияния дифракции на проволочках электродов трудно установить точный диаметр голограммы, а это было бы полезно, поскольку на основании формулы  $d = 0,77\lambda z/L$  можно определить диаметр неоднородности  $d$ , зная диаметр ее голограммы  $L$ .

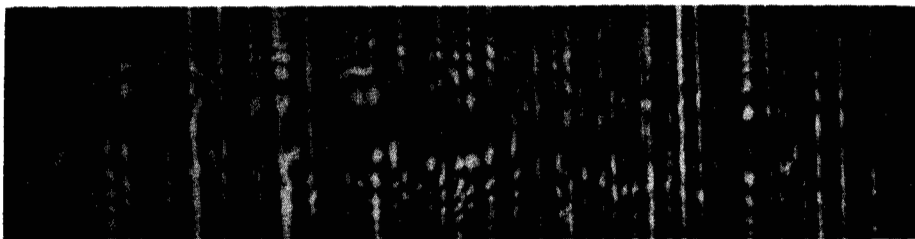


Рис.4. Фотография голограммы трека электрона в гелиево-метановой камере при давлении 10 атм. Напряженность поля  $\sim 125$  кВ/см, задержка ГИН 600 нс, задержка лазерного импульса относительно высоковольтного - 200 нс. Длина трека  $\sim 0,8$  см.

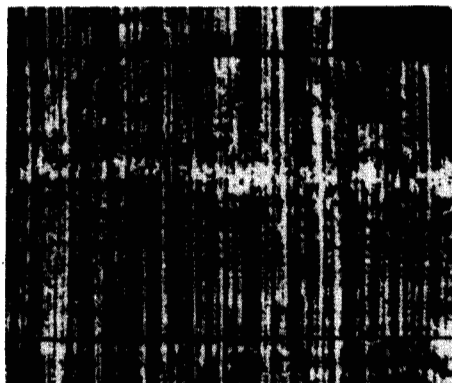


Рис.5. Фотография восстановленного изображения с голограммы рис.4. Вверху и внизу изображения видны фотографические изображения миры шириной 160 и 80 мкм. Длина трека  $\sim 0,8$  см.

При сопоставлении диаметра неоднородности с мирами обнаружено, что величина диаметра оптических неоднородностей в некоторых стримерных каналах составляла  $\sim 80$  мкм /в области шейки/, в то время как в других каналах она варьировала в пределах 100-180 мкм.

Вышеуказанные цифры подтвердились при измерении диаметров неоднородностей с тенеграмм.

### Б. Измерение тенеграмм

Высокое содержание шумовой компоненты, обусловленной дифракцией на проволочках электродов, не позволяет вести точные измерения и микрометрирование восстановленных изображений с голограммы. Поэтому все измерения производились с тенеграмм, регистрируемых при тех же условиях /рис.6/, при которых регистрировались голограммы.

Поскольку во время регистрации использовались насадочные кольца для точного наведения объектива на фокус в медианной плоскости СК, на тенеграмме регистрировались "сжатые" изображения камерного объема /коэффициент сжатия 3,6/. Несмотря на это,

степень "прозрачности" тенеграмм остается невелика, поскольку и здесь сказывается влияние дифракции на проволочках, что тоже затрудняет микрофотометрирование треков, поэтому тенеграммы измерялись микроскопом.

Диаметр оптической неоднородности определялся с размера светлого пятна в каждом стримерном канале до первого максимума резкого почернения. Средний диаметр изображений неоднородности вычислялся из измерений 30-60 изображений при каждой задержке лазера или ГИНа.

Таблица 1

Зависимость плотности числа изображений оптических неоднородностей  $\eta$  /стример/см/ и их диаметра  $d$  /мкм/ от задержки лазерного импульса  $\Delta t$  при изменении  $\Delta t$  в интервале относительно высоковольтного импульса 200-9000 нс и от задержки высоковольтного импульса  $\Delta t = 600$  и  $\Delta t = 900$  нс / $\Delta t = 700$  нс в обоих случаях/ относительно сигнала с ФЭУ

Пара-метр	Голографический метод съема информации				Фотографический метод $\Delta t = 600$ нс						
	5 атм.		10 атм.		5 атм.	10 атм.					
	$\Delta t = 600$ нс	$\Delta t = 900$ нс	$\Delta t = 600$ нс	$\Delta t = 900$ нс							
$\eta$	200	500	800	$10 \pm 1$	$10 \pm 1$	$14 \pm 1$	$14 \pm 1$	$4 \pm 1$	$6 \pm 1$		
$d$	2000	9000	200	500	800	$\sim 180$	$\sim 190$	$\sim 150$	$\sim 160$	-	-

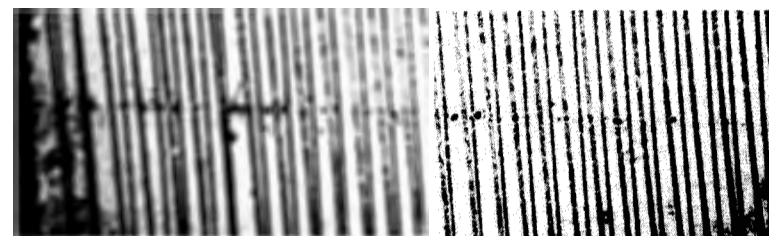


Рис.6. Фотография трека электрона, зарегистрированного на тенеграмме при тех же условиях, что и голограмма рис.4. Длина трека  $\sim 3$  см.

Результаты этих измерений приведены в табл.1. Как видно, увеличение давления в два раза слабо влияет на величину диаметра изображения оптической неоднородности, как и следовало ожидать, поскольку длина высоковольтного импульса оставалась постоянной  $\sim 100$  нс<sup>10,11</sup> /в таблице приведены реальные значения диаметров неоднородностей, т.е. такие, какие были в самой камере/.

При давлении 5 и 10 атм треки регистрировались уверенно и без изменения относительно плотности и диаметра изображения до задержки высоковольтного импульса относительно импульса с ФЗУ до 1000 нс. Поскольку высота камерного объема соизмерима с толщиной боковых стекол, вследствие разницы в диэлектрических константах рабочей смеси и стекол величина напряженности поля в камере превышала рассчитанную по междуэлектродному зазору и составляла  $\sim 125$  кВ/см. По-видимому, из-за столь высоких напряженностей полей не наблюдалось зависимости диаметра и плотности числа изображений неоднородностей от величины амплитуды высоковольтного импульса ГИНа.

Повышение давления, несомненно, увеличивает чувствительность метода, о чем свидетельствует увеличение плотности стримеров, хотя наблюдаемая плотность значительно меньше, чем плотность первичной ионизации, рассчитанная по формуле, предложенной в<sup>12</sup>. Исходя из этой формулы, при  $E = 0,541 \pm 2,26$  МэВ /радиоактивный источник <sup>90</sup>Sr / для гелия при давлении 10 атм следует, что

$$n = \frac{A}{\beta^2} \cdot p \cdot \frac{273}{273 + t^{\circ}} \left[ \frac{p}{1 - \beta^2} - \beta^2 \right] \sim 55 \text{ пар ионов/см,} \quad /3/$$

где  $A = 0,244$  и  $B = 11,64$ ;  $P$  - давление;  $\beta = v/c$ . С другой стороны, как видно из таблицы, стримерная камера с голографическим съемом информации обладает, тем не менее, повышенной чувствительностью по сравнению с классическим методом фотографирования /рис.7/.

О несомненных преимуществах СК с ГСИ можно судить и по качеству изображений с тенеграмм и фотограмм. К сожалению, о тех преимуществах, которые дает голография, трудно судить по прямому фотографированию трека с голограммы в белом свете. О достоинствах метода ГСИ можно получить полное представление только при восстановлении голограммы в когерентном свете, когда отдельный элемент трека восстанавливается не только с высоким пространственным разрешением, но и с информацией о его  $z$ -координате.

При сопоставлении полученных нами данных о плотности и диаметре регистрируемых изображений, возникающих в стримерных каналах в гелиево-метановой стримерной камере с ГСИ при давлении смеси 10 атм, с данными работ<sup>5-7</sup>, видно, что увеличение процентного содержания метана увеличивает чувствительность метода ГСИ /табл.2/. Об этом можно судить, сопоставляя полученные результаты с данными экспериментов в дейтериевой камере,



Рис.7. Фотографическое изображение трека электрона. Давление в камере 10 атм., напряженность поля  $\sim 125$  кВ/см, задержка высоковольтного импульса ГИНа 600 нс. Длина трека  $\sim 3$  см.

Таблица 2

Зависимость плотности и диаметра изображений от давления рабочей смеси в камере, процентного содержания метана и от рефракции

Давление /атм./	Рабочая смесь	Метан %/	Рефракция $(n-1) \cdot 10^4$	Плотность числа ре- фракции, $\eta$ /стрим./см/	Средний диаметр изображения, $d$ /мкм/
5 <sup>6/</sup>	He + CH <sub>4</sub>	0,4-0,6	$\sim 0,38$	$\sim 4$	-
5 <sup>7/</sup>	He + CH <sub>4</sub>	0,02-0,09	$\sim 0,38$	$\sim 5$	$\sim 150$
5 <sup>5/</sup>	D <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O	0,1	1,38	9 $\pm$ 2	$\sim 120$
5	He + CH <sub>4</sub>	25	1,39	10 $\pm$ 1	$\sim 180$
10	He + CH <sub>4</sub>	25	1,39	14 $\pm$ 1	$\sim 150$

в которой рефракция примерно одинакова с рефракцией в гелиево-метановой камере с 25% содержанием метана.

При рассмотрении данных табл.2 надо иметь в виду некоторые различия в параметрах установок, на которых они были получены: разная ударная емкость ГИНов, различный шаг намоток электродов и различный способ их крепления, разная чистота газов наполнения и др.

#### Выводы

1. Увеличение процентного содержания метана с целью увеличения степени оптической неоднородности приводит к улучшению

чувствительности метода ГСИ с СК, хотя достигнутая плотность числа изображений значительно меньше плотности первичной ионизации при заданных условиях /давление 10 атм/.

2. Увеличение давления в два раза /с 5 до 10 атм/ приводит к уменьшению диаметра изображения оптической неоднородности от 180 до 250 мкм и к увеличению плотности числа изображений с 10 до 14 стрим./см.

3. При изменении задержки лазерного импульса относительно высоковольтного в интервале 200-900 нс плотность числа изображений и их средний диаметр остаются постоянными.

Таким образом, полностью реализовать преимущества метода голографического съема информации со стримерных камер возможно только при использовании рабочей смеси с большим значением рефракции при высоких давлениях с соответствующим сокращением длительности высоковольтного импульса.

Авторы благодарны проф. В.П.Джелепову за интерес к работе и Л.М.Сороко за плодотворные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Томбак М.А. Препринт ЛИЯФ, 499, Л., 1979.
2. Стабников М.В., Томбак М.А. Препринт ЛИЯФ, 497, Л., 1979.
3. Ульман П., Ульман Х., Щербаков Ю.А. ОИЯИ, 13-81-323, Дубна, 1981.
4. Будзьяк А. и др. ОИЯИ, 1-80-299, Дубна, 1980.
5. Иванов И.Ц. и др. ОИЯИ, P13-83-154, Дубна, 1983.
6. Будзьяк А. и др. ОИЯИ, 13-82-160, Дубна, 1982.
7. Будзьяк А. и др. ОИЯИ, P13-83-183, Дубна, 1983.
8. Борн М., Вольф Е. Основы оптики. "Наука", М., 1971.
9. Бартке Е., Иванов И.Ц., Экснерова Я. ОИЯИ, P13-83-198, Дубна, 1983.
10. Володин В.Д. и др. ОИЯИ, P1-82-40, Дубна, 1982.
11. Majka R. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1982, 192, p.241.
12. Ермилова В.К. и др. ЖЭТФ, 1969, т.56, с.1608.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 ноября 1983 года.

Иванов И.Ц. и др.

Д1-83-798

10-атмосферная гелиево-метановая стримерная камера  
с голографическим съемом информации

Впервые произведена голографическая регистрация треков электронов в гелиево-метановой стримерной камере при давлении смеси 10 атм. С использованием габоровской схемы голографирования вдоль электрического поля плотность числа регистрируемых голограммой изображений стримеров составляет 14+1 стрим./см. Величина действительного диаметра стримерного канала составляет ~150 мкм и мало меняется при изменении задержки лазерного импульса относительно высоковольтного импульса генератора импульсов напряжения в интервале 200-9000 нс. Камера работает в режиме самошунтирования с добавлением 25% метана к основному рабочему газу - гелию.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Ivanov I.Ts. et al.

D1-83-798

The 10 atm Helium-Methane Streamer Chamber  
with Holographic Registration

Electron track holograms were registered at 10 atm helium-methane (3/1) self-shunted streamer chamber. From the Gabor hologram, the track was reconstructed with 14+1 streamer density (str./cm) and about 150  $\mu\text{m}$  mean-value diameter of the streamer image. The density and diameter values remain constant during the 200-9000 ns laser time-delay relative to high-voltage pulse.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint