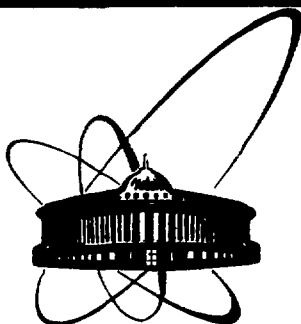


СССР 15 1847



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P13-84-285

Л.В.Баканов¹, Б.А.Воробьев², А.Н.Зубарев,
А.Г.Кочуров, В.Д.Лебедев¹, Л.Г.Логак²,
А.Ф.Найденков¹, В.П.Соколов

**ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
НА ПУЧКЕ ПРОТОНОВ**

¹ Ленинградский Институт ядерной физики /ЛИЯФ/,

² Казанский научно-исследовательский технологический
и проектный институт химико-фотографической промышлен-
ности /КазНИИтехфотопроект/.

1984

ВВЕДЕНИЕ

В работе ^{1/} сообщалось о голографировании треков частиц в небольшой тяжеложидкостной пузырьковой камере, созданной специально для отработки голографического метода регистрации. В результате первых опытов были получены голограммы треков электронов конверсии γ -источника при освещении камеры импульсным рубиновым лазером или лазером на красителе. Фоторегистратором в этих опытах служила стандартная аэрофотопленка тип 28.

Целью настоящей работы является отладка этой установки в реальных условиях эксперимента на ускорителе и определение достижимого в ней пространственного разрешения. Для решения этой задачи установка была размещена на канале "быстрого" вывода синхрофазотрона ЛВЭ. При подготовке камеры к облучению особое внимание было обращено: во-первых, на разработку электронной схемы синхронизации, которая ввиду специфичности голографической пузырьковой камеры отличается от традиционной, во-вторых, на выбор наиболее подходящего голографического фотоматериала.

АППАРАТУРА

В установке реализована габоровская схема получения голограмм. Эта схема отличается простотой и оказывается очень удобной для создания на ее основе голографической установки с трековым детектором. Несмотря на присущие ей недостатки ^{5/}, схема Габора дает вполне удовлетворительные результаты при голографировании пузырьковых камер ^{2,8/}.

Схема голографической установки показана на рис.1.

Лазер ^{1/} на рубине $\lambda = 694,3$ нм/ работает в одномодовом режиме с модулированной добротностью. Модуляция добротности осуществляется с помощью сброса напряжения 6 кВ на ячейке Поккельса, совмещенной с призмой Глана-Фуко. Резонатор лазера состоит из диэлектрического зеркала с коэффициентом отражения ~ 100% и плоскопараллельной пластины; его длина 30 см. Для накачки используется лампа ИСП-2000. Все элементы лазера с механическими системами юстировки устанавливаются на жесткой ферме из инваровых стержней. Это значительно облегчает процесс настройки лазера. Длительность светового импульса $\tau_{и} = 30$ нс, энергия - 0,3 Дж, частота срабатывания - 1 Гц.

Диафрагма ^{2/} вырезает из пучка равномерно освещенную часть диаметром 0,6 мм. Световой пучок формируется линзами ^{3/}, ^{4/}

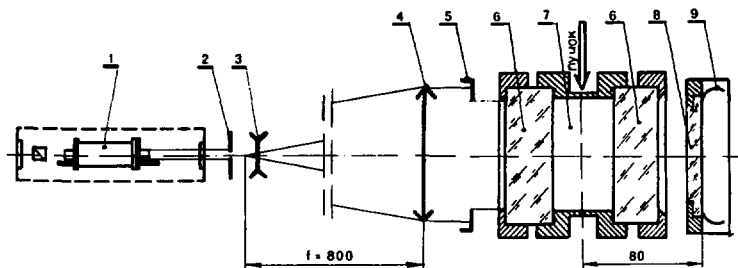
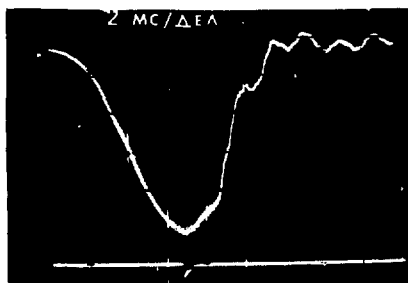


Рис.1. Схема голографической установки

в параллельный и освещает пузырьковую камеру /7/ через полевую диафрагму /5/ диаметром 58 мм. Полевая диафрагма препятствует попаданию света на внутреннюю боковую поверхность камеры. Датчиком светового импульса служит фотодиод ЛФД-2, укрепленный вблизи полевой диафрагмы.

Рабочий объем пузырьковой камеры /7/ представляет собой цилиндр диаметром 65 мм и длиной 40 мм, закрытый с торцов двумя плоскопараллельными пластинками из стекла марки К-8. Толщина пластин 30 мм. Корпус камеры теплоизолирован, камера заполняется фреоном 218 (C_3F_8), рабочая температура поддерживается на уровне $46,0^{\circ}C$. Расширение и поджатие камеры осуществляется с помощью электромагнитного клапана двойного действия. Давление поджатия в камере - 21 атм; нижнее давление устанавливалось в пределах 8,6-9,2 атм. В этом диапазоне давлений в приемном воздухосборнике клапан работал наиболее устойчиво, и кривая перепада давления в камере отличалась наилучшей стабильностью. Нижнее давление стабилизируется с точностью до 0,01 атм. Перегрев в камере /в единицах давления/ составляет приблизительно 5,2 атм при равновесном давлении $14,8 \text{ атм} / t^{\circ} = 46,0^{\circ}C /$. Осциллограмма кривой давления приведена на рис.2.



Голограммы регистрируются на фотопленке /9/ рис.1/ шириной 50 мм, установленной в лентопротяжном устройстве с пневмоприводом. В момент записи голограммы пленка прижата к плоскопараллельной стеклянной

Рис.2. Осциллограмма кривой давления в пузырьковой камере.

пластине /8/ с помощью резиновой надувной подушки. Такая система фиксации фотопленки, как показал анализ голограмм, не вносит добавочных шумов и не ухудшает качества восстановленного изображения. Расстояние от центра камеры до плоскости фотопленки - 80 мм.

СХЕМА синхронизации ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ с синхрофазотроном ЛВЭ

Структуру и основные технические характеристики схемы синхронизации голографической камеры определили следующие условия:

1. Для фотографирования применяется импульсный рубиновый лазер с накачкой. Оптимальное опережение запуска накачки по отношению к пучку частиц составляет 800 ± 850 мкс.

2. Задержка запуска затвора лазера /время роста пузырьков/ составляет единицы микросекунд.

3. Облучение камеры проводится на "быстром" выводе синхрофазотрона. Длительность быстрого вывода - 300 мкс, причем в 30% циклов наблюдается временной сдвиг пучка по отношению к синхроимпульсу ускорителя, равный длительности вывода / - 300 мкс/. С учетом этих условий была разработана система синхронизации, приведенная на рис.3, где КГ - кварцевый генератор, СТ - стартовые триггеры, Д - счетные декады, БВ - блоки выбора.

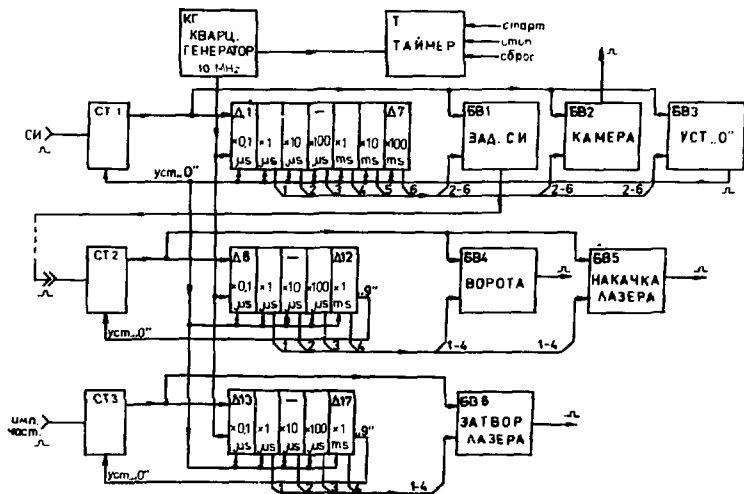


Рис.3. Функциональная схема системы синхронизации.

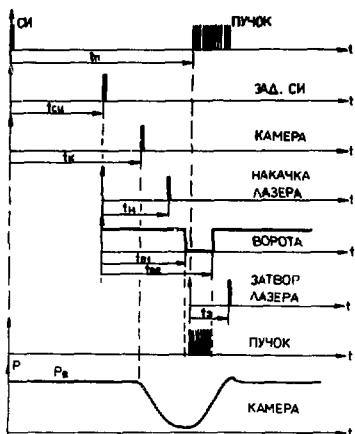


Рис. 4. Временная диаграмма синхронизации установки.

вый генератор /КГ/ работает в непрерывном режиме. Частота генерации $f_{КВ} = 10$ МГц определяет точность установления интервалов $\Delta T = 1/f_{КВ} = 0,1$ мкс. Декадные счетчики /Д/ - состоят из 10 триггеров, выходы которых разведены на переключатели блоков выбора /БВ/ и генератора тактовых импульсов, стробируемого стартовым триггером /СТ/. Стартовый триггер по внешней команде дает разрешение на начало счета декадам. Блоки выбора /БВ/ генерируют запус-

кающий сигнал для исполнительного устройства по достижении триггерами декад состояния, заданного переключателями БВ.

Максимальное время пересчета - 900 мс с шагом установки интервалов $T = 1$ мкс.

Схема синхронизации состоит из 3 одинаковых частей /различия только в числе декад/, которые могут запускаться как внешними сигналами, так и последовательно одна от другой с любыми задержками. Временная диаграмма оптимального варианта синхронизации установки с ускорителем приведена на рис. 4. Синхронимпульс /СИ/ опережает появление частицы в канале на время $t_{п}$. СИ переключает стартовый триггер СТ1 в состояние "разрешение" для декад и блоков выбора /Д1-Д7, БВ1-БВ3/. БВ1 управляет расширением камеры. БВ2 осуществляет задержку СИ. Задержанный СИ запускает СТ2, ДВ-Д12, БВ4, БВ5. Блоки выбора /4,5/ управляют накачкой лазера и стробированием пучка временными воротами. Импульсом 1-й стробируемой частицы запускается стартовый триггер СТ3 и декады Д13-Д17. Блок выбора /БВ6/ управляет затвором лазера.

Задержки "ворот" и накачки лазера определялись требованием обеспечения оптимального времени накачки /800 ÷ 850 мкс/ для любой стробируемой частицы: при $T_{в} = t_{в1} - t_{в2} = 25$ мкс, $T_{н\min} = t_{н1} - t_{н} = 825$ мкс, $T_{н\max} = t_{в2} - t_{н} = 750$ мкс. Задержка $t_{з}$ выбиралась из условия обеспечения размера пузырьков диаметром ~ 10 мкм и равнялась 10 мкс. В тех случаях, когда начало сброса пучка точно попадало в "ворота", мы получали голограммы с треками из пузырьков диаметром ≤ 10 мкм. В циклах ускорителя, когда частицы в канале появлялись до ворот, на голограммах регистрировались следы с различным временем роста пузырьков, в том числе и >10 мкс.

Схема синхронизации голографической пузырьковой камеры выполнена на интегральных схемах ТТЛ в стандарте "Вишня".

ВЫБОР ФОТОМАТЕРИАЛА

Восстановленные с голограммы изображения наблюдаются на фоне шума. Шум на разных участках голограммы имеет различный уровень. В поле зрения микроскопа шумовой фон представляет собой беспорядочный набор темных и светлых неопределенно очерченных зон, которые местами могут полностью маскировать изображение пузырьков трека. Наш опыт показал, что именно шум фотоматериала в наибольшей степени определяет качество изображения. Вместе с тем ухудшение изображения из-за локального нарастания шума могло быть вызвано и другими факторами, например: дефектами в оптических элементах, дефектами самого материала, свивелатостью жидкости в камере, а также модуляциями от посторонних изображений, попадающими в наблюдаемую зону. Возникающий по последней причине шум является, по-видимому, основным фактором, который ограничивает трековую загрузку камеры.

Процедура выбора фотоматериала состояла в том, что голограммы пузырьковой камеры, полученные на образцах, подвергались сравнительной оценке по качеству восстановленных изображений достаточно малых объектов /тест-объектов/. Наилучшим тест-объектом является трек или единичный пузырек в объеме рабочей камеры. Удобнее, однако, обойтись без запуска камеры и изучать изображения других малых объектов, таких, например, как дефекты обработки поверхностей стекол /микросколы, царапины/ или случайные ворсинки. Среди этих случайных тест-объектов часто встречаются такие, размер которых составляет единицы мкм. Их хорошее восстановление /уверенное субъективное восприятие сигнала над шумом/ надежно свидетельствует о высоком качестве фотоматериала.

В качестве тест-объектов использовались также и проволочки /10 мкм/, натянутые перед стеклом камеры. Хороший фотоматериал не только дает четкое и контрастное изображение проволочек, но и позволяет различать имеющиеся на проволочках небольшие наплывы и ворсинки /рис.5/.

Эксперименты по выбору фотоматериала показали, что наилучшие голограммы получались на некоторых пластинках ЛОИ и на образцах фотоэмульсии, разработанных в КазНИИтехфотопроект /г.Казань/.

В экспозиции на протонном пучке мы применяли фотопленку КазНИИтехфотопроект с галогенидосеребрянной монодисперсной эмульсией, подвергнутой спектральной сенсбилизация к излучению с $\lambda = 694$ нм. Средний размер микрокристаллов эмульсии - 0,05 мкм.



Рис.5. Восстановленное изображение проволоочки диаметром 10 мкм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Голограммы восстанавливались в пучке серийного гелий - неоновом лазере $\lambda = 632 \text{ нм}$. Голограмма могла перемещаться по трем координатам; изображение можно было рассматривать в микроскоп, проектировать на экран, на мишень видикона.

Контраст восстановленного изображения был достаточно высоким без применения фильтра восстанавливающего пучка ^{4/}. Наилучшим визуальным качеством /яркость, четкость, контраст/ обладали изображения, восстановленные с голограмм, оптическая плотность которых была $1,2 \div 1,4$.

Возраст треков, фиксируемых голограммой, как указывалось выше, связан с положением импульса затвора на временном интервале "накачка - затвор".

Размер пузырька в зависимости от времени, его рост в условиях режима нашей камеры хорошо аппроксимируются выражением $d_{\text{пуз}} = 3,1\sqrt{t} / t$ - в мкс, d - в мкм/. Эта зависимость была получена в лабораторных экспериментах, когда камера экспонировалась в импульсном рентгеновском пучке, имевшем длительность $\tau \sim 50 \text{ нс}$. В экспозиции на протонном пучке максимальное время роста фотографируемого пузырька определяется как время t_3 , где t_3 - задержка между сигналом от схемы совпадений и световым импульсом /рис.4/. В нашем случае возраст треков на снимках лежит в диапазоне $0 < t < 35 \text{ мкс}$, и размер пузырьков не превышает 20 мкм.

Эксперимент в общем хорошо подтвердил приводимую здесь оценку ожидаемого размера пузырьков в зависимости от t_3 . На основной серии голограмм /340 снимков/ были зарегистрированы треки, состоявшие из пузырьков диаметром $\leq 20 \text{ мкм}$.

Плотность пузырьков в треках первичных протонов $/E \approx 4,2 \text{ ГэВ/}$ - в среднем $120/\text{см}^{-1}$, в треках вторичных частиц она значительно выше и оценивается величиной до $1000 / \text{см}^{-1}$.

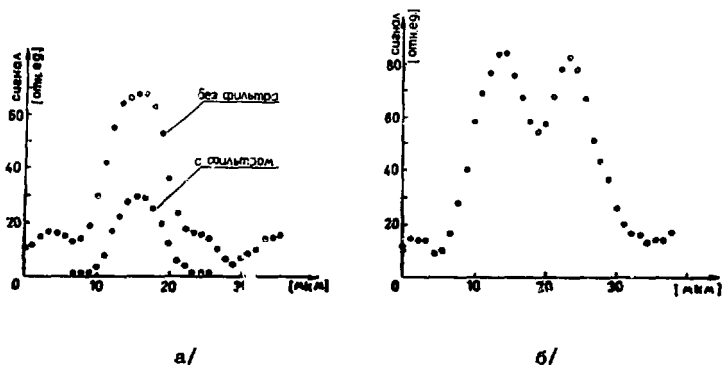


Рис. 6. Профили пузырьков, полученные при фотометрировании.

Вследствие временной нестабильности режима "быстрого" вывода на ускорителе величина t_3 могла быть существенно больше 35 мкс.

Восстановленное изображение пузырьков с $d \geq 20$ мкм имеет прекрасный контраст и четкие границы.

Пузырьки диаметром 10-12 мкм имеют менее четкие границы. Заметное падение контраста наблюдается у одиночных пузырьков $d = 5 \div 6$ мкм. Поиск их затруднителен, так как их изображение /при $\Delta Z = 50$ мкм/ быстро деформируется и полностью деградирует. В то же время при большой плотности пузырьков трек хорошо прослеживается $/ > 300 \text{ см}^{-1} /$.

На рис. 6 представлены результаты фотометрирования изображения пузырьков. Кривые а, а' представляют собой профили пузырька, снятые без фильтрации и с фильтрацией восстанавливающего пучка. С применением фильтра фон понизился в 30 раз, сигнал - приблизительно в 2,5 раза.

Наглядное представление о разрешении в голографической пузырьковой камере дает кривая б/ - профиль двух близлежащих пузырьков.

На рис.7 приведены микрофотографии восстановленных многолучевых событий /восстановлено без фильтрации/.

ВЫВОДЫ

Первые результаты, полученные при облучении фреоновой пузырьковой камеры протонным пучком синхрофазотрона ЛВЭ, можно сформулировать следующим образом:

1. Выбранная схема голографирования позволяет получить высококачественные голограммы. Оптимальная средняя оптическая плотность голограмм - 1,2-1,4.
2. Плотность пузырьков в треках первичных протонов с энергией 4,2 ГэВ составляет 120 см^{-1} , вторичных частиц - до 1000 см^{-1} .
3. Диаметр пузырьков $d = 10 \text{ мкм}$ получен при $t_3 = 10 \text{ мкс}$, что соответствует соотношению $d = 3,1\sqrt{t}$.
4. На голограммах также зафиксированы треки, размер пузырьков в которых не превышает 5-6 мкм.
5. Система синхронизации установки с ускорителем позволяет оперативно менять условия эксперимента и может быть использована для реальной физической задачи.
6. Рубиновый лазер может быть успешно применен для получения голограмм по схеме Габора. Лазер хорошо управляется. Необходимость предварительной накачки не является серьезным препятствием для его использования в эксперименте.

Авторы благодарны Н.А.Коржеву, Н.А.Смирнову, Ю.И.Крымову, Н.И.Новожилову и И.В.Калашникову за помощь в монтаже установки на канале ускорителя и предоставленную аппаратуру, Е.Н.Соловьеву и И.И.Иванову за изготовление и отладку узлов аппаратуры, А.М.Беккеру за помощь в измерениях, М.И.Соловьеву и М.В.Стабникову за всестороннюю поддержку.

Авторы весьма признательны акад. А.М.Балдину, чл.-корр. АН СССР О.И.Сумбаеву за интерес к работе.

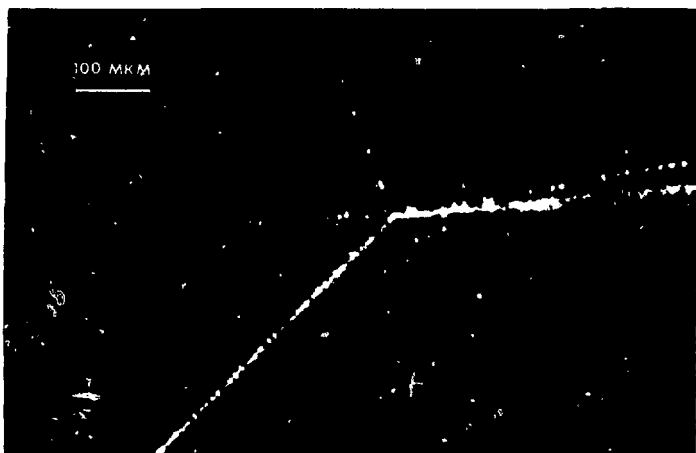


Рис.7а. Восстановленное с гслограммы изображение события в пузырьковой камере, экспонированной в протонном пучке /диаметр пузырьков - 10 мкм/.

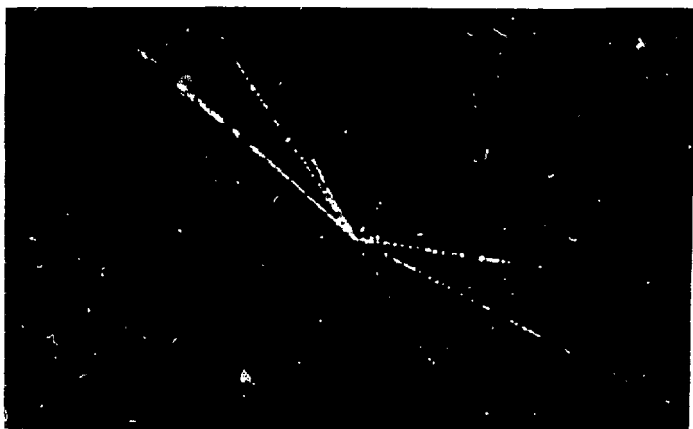


Рис.7б. То же, что на рис.7а /все поле - 2 мм/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баканов Л.В. и др. Препринт ЛИЯФ №829, 1983.
2. Herve A. et al. Nucl.Instr.Meth., 1982, vol. 202, p. 417.
3. Dykes M. et al. Nucl.Instr.Meth., 1981, vol. 179, p. 487.
4. Lecog P. et al. European Hybrid Spectrometer Workshop on Holography and High Resolution Techniques, CERN 82-01, Geneva, 1982, p. 62.
5. Бартке Е., Иванова И.Ц., Экснерова Я. ОИЯИ, Р13-83-198, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июня 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,
если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Голографическая пузырьковая камера на пучке протонов

Описывается пузырьковая камера с голографическим съемом информации. Размеры камеры: диаметр - 65 мм, глубина - 40 мм. Наполнение - фреон (C_3F_8). Рабочая температура - $46^\circ C$ при давлении поджатия 21 атм. Фронт кривой расширения - 4 мс. В установке реализована габоровская схема получения голограмм. Для освещения применяется импульсный рубиновый лазер с накачкой $\lambda = 694,3$ нм/с длительностью светового импульса - 30 нс, энергией импульса 0,3 Дж. Камера облучалась протонным пучком синхрофазотрона ЛВЗ. Получены качественные голограммы взаимодействия протонов с фреоном. Плотность пузырьков в треках первичных протонов - 120 см^{-1} , вторичных частиц - до 1000 см^{-1} . Диаметр пузырьков при времени роста $t_3 = 10$ мкс составляет 10 мкм, что соответствует соотношению $d = 3,1 \sqrt{t}$. Приведены результаты фотометрирования профиля пузырьков и фотографии восстановленных с голограмм событий взаимодействия протонов с фреоном. Пузырьки диаметром ≥ 10 мкм имеют хороший контраст и четкие границы. На голограммах зарегистрированы также и треки с диаметром пузырьков $\geq 5-6$ мкм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Holographic Bubble Chamber on a Proton Beam

The bubble chamber with a holographic readout is described. Its sizes are: diameter - 65 mm, depth - 40 mm, filling - freon (C_3F_8), operating temperature - $46^\circ C$, pressure - 21 atm, the front of expansion curve - 4 ms. The Gabor scheme of obtaining holograms was used in the setup. The ruby laser with pumping ($\lambda = 694.3$ ns), 30 ns length of light impulse, impulse energy of 0.3 J. was used for illumination. The chamber was irradiated by the proton beam of the LHE synchrophasotron. Quality holograms of interacting protons with freon are obtained. Density of bubbles in primary proton tracks was 120 cm^{-1} , that of secondary particles - 1000 cm^{-1} . Bubble diameter for $t_3 = 10$ mks is 10 μm , which corresponds to the ratio $d = 3.1 \sqrt{t}$. The results of photometric measurements of bubble profile and photographs of restored from holograms events of interaction of protons with freon are given. Bubbles of ≥ 10 μm diameter have a good contrast and clear boundaries. Tracks with bubble diameter of $\geq 5-6$ μm are also registered in holograms.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984

14 ксп.

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой.
Набор Н.П.Боголюбовой, Е.М.Граменицкой.

Подписано в печать 22.06.84.
Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 0,94.
Тираж 445. Заказ 34867.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.