

С 346а + С 344, 1Д
Б-262

+

5455/82
82-566



Бартке Е.Г. и др.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б1-1-82-566

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1982

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описан проект создания небольшой (с объёмом порядка одного литра) прецизионной криогенной быстродействующей пузырьковой камеры, предназначенной для исследования процессов с образованием короткоживущих (10^{-14} - 10^{-12}) сек. частиц и ядер. Назначение камеры - обеспечить регистрацию следов частиц с разрешением порядка 30 - 40 мкм посредством обычной стереофотографии (I этап) и порядка 10 мкм - посредством голографии (II этап).

Такая камера является современным прибором для исследования редких процессов образования очарованных частиц и, в перспективе, очарованных ядер, для задач релятивистской ядерной физики, физики элементарных частиц и может использоваться как самостоятельный прибор или как вершинный детектор электронных спектрометрических установок.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
I. <u>Введение</u>	I
2. <u>Краткий обзор известных прецизионных пузырьковых камер</u>	4
2.1. Камера "LEUC".	4
2.2. Камера "BIVC"	4
2.3. Проект камеры "NO/LEUC"	5
3. <u>Проект прецизионной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ</u>	6
3.1. Параметры камеры	6
3.2. Состав оборудования	7
3.3. Конструкция камеры	8
3.4. Оптические системы	II
3.5. Сверхпроводящая магнитная система	17
4. <u>Обработка оптической информации с прецизионной камеры</u>	20
5. <u>Пучок и триггер</u>	22
6. <u>Возможности применения прецизионной пузырьковой камеры в физических экспериментах</u>	25
6.1. Аномальные сечения взаимодействий релятивистских ядерных фрагментов	25
6.2. Исследование медленных частиц в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях	28
6.3. Релятивистские гиперядра	29
6.4. Исследования короткоживущих частиц	31
7. <u>График разработки и создания прецизионной камеры</u>	38
8. <u>Оценка стоимости первого этапа разработки (1982-1983гг)</u>	39
9. <u>Заключение</u>	41

Г. В В Е Д Е Н И Е.

В течение последних лет в нескольких зарубежных лабораториях физики высоких энергий были созданы небольшие прецизионные пузырьковые камеры. Целесообразность разработки таких камер вызвана открытием семейства короткоживущих частиц, обладающих новым квантовым числом — шармом, и необходимостью изучения их свойств. Время жизни этих частиц оказалось порядка $\tau \approx (10^{-13} + 10^{-12})$ сек., что соответствует длине пролета порядка $c\tau \approx (30 + 300)$ мкм. Это обстоятельство исключило возможность применения для изучения новых частиц обычных пузырьковых камер или электронных установок с проволочными камерами из-за недостаточной разрешающей способности этих детекторов. Возможно применение для этих целей фотоэмульсионной методики, но эффективность её применения не может быть высокой из-за известных недостатков.

С целью более эффективного изучения свойств шармованных частиц в ЦЕРН-е, совместно с лабораторией имени Резерфорда в Англии, была создана быстроциклическая прецизионная водородная пузырьковая камера \angle ЕВС /1/. Эта камера, объемом в 1 литр, изготовлена из "лексана", работает с частотой 40 Герц и обладает разрешающей способностью порядка 30 мкм за счет соответствующим образом подобранного режима работы и прецизионной системы фотографирования с небольшим коэффициентом уменьшения изображения. Эта камера предназначалась для работы в качестве "вершинного" детектора в составе гибридного спектрометра Е Н S, но в 1979 г. была успешно применена как самостоятельный прибор для изучения шармованных частиц. В результате этого эксперимента, в котором камера облучалась в пучке пи-минус мезонов с энергией 340 Гэв от синхротрона в ЦЕРН-е, было зафиксировано 12 случаев распада шармованных частиц /2/. В этом эксперименте, в котором за 10-ти дневный сеанс было получено свыше 100 000 стереофотографий, камера проделала свыше 1 000 000 циклов расширения. В 1980 году камера \angle ЕВС работала уже в составе "Европейского гибридного спектрометра".

В университете г.Берн (Швейцария) создана маленькая быстроциклическая фреоновая пузырьковая камера ВІВС. На этой камере была доказана возможность голографической регистрации пузырьков диаметром 6-8 мкм /3/.

Группа, которая создавала камеру Δ ЕВС, в настоящее время разрабатывает новый вариант камеры с голографическим съемом информации, обеспечивающим разрешающую способность около 5 мкм. Эта камера, названная НО Δ ЕВС, должна пройти испытания в 1981 году /1/ и заменить камеру Δ ЕВС как "вершинный детектор" спектрометра ЕНС.

Представленная выше информация с несомненностью показывает, что прецизионная пузырьковая камера является весьма перспективным прибором с уникальными возможностями для исследований в актуальных областях физики элементарных частиц, который в данный момент времени существенно превосходит другие приборы по точности регистрации актов взаимодействия частиц с веществом. Этот прибор в равной мере может быть применен как автономный детектор, так и как вершинный детектор в составе какого-либо гибридного спектрометра.

Целью предлагаемой работы является разработка небольшой прецизионной (криогенной) быстроциклирующей пузырьковой камеры для исследований в области релятивистской ядерной физики и физики элементарных частиц, создание её рабочей модели (экспериментального образца) и подготовка предложения по физическому эксперименту с применением такой камеры.

Проектом предусматривается осуществить создание прецизионной пузырьковой камеры в два этапа. На первом этапе планируется создать камеру с классической стереофотограмметрической системой съема информации, а на втором - камеру в сверхпроводящем магните и с голографическим съемом информации.

Основные предпосылки возможности создания прецизионной пузырьковой камеры в полном объеме следующие:

I) в ЛВЭ накоплен большой опыт создания пузырьковых камер и имеется материальная база;

2) участие в создании такой камеры выразили согласие принять ЛИТМО, имеющий большой опыт создания стереофотограмметрической аппаратуры для пузырьковых камер, и ЛИЯФ, проводящий систематические работы по голографическому съему информации с трековых детекторов начиная с 1956 года^{/5/}.

В Проекте приведены характеристики существующих и разрабатываемых в других лабораториях прецизионных пузырьковых камер, рассмотрены возможные варианты технического исполнения камеры такого типа в ЛВЭ ОИЯИ, вопросы её стоимости и сроки реализации. Обсуждены также некоторые задачи в области релятивистской ядерной физики и физики элементарных частиц, которые могут быть решены с использованием прецизионной пузырьковой камеры.

Литература

1. Brussels - CERN - Oxford - Padova - Rutherford Collaboration, CERN/SPSC 78-103, Geneva, 1978.
2. W.Allison et al., Phys. Lett. 93B (1980) 509.
3. M.Dykes et al., Nucl. Instr. and Meth., 179 (1981) 487.
4. C.Fisher, Work.on Hol. Track Chamb., Fermilab, Batavia, Nov.1980.
5. М.В.Стабников. Голографирование следовых приборов и возможные пути обработки полученной информации. Доклад на Межд.симпозиуме по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых камер, ДПО-6142, ОИЯИ, Дубна, 1971 г.

2. КРАТКИЙ ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР ДРУГИХ ЛАБОРАТОРИЙ.

2.1. Камера "LEBC". - Рис. 1, 2.

(Малая Европейская пузырьковая камера или лексановая пузырьковая камера)

Тип камеры: прецизионная, криогенная, быстроциклирующая.

Среда в камере: водород.

Размеры камеры: ϕ 200 мм, Н = 40 мм, (объем - 1 литр).

Конструкция: камера склеена из лексана.

Частота циклов расширения: 40 Герц.

Освещение: авторефлекторное с отражателем "скотчлайт".

Фотографирование: Масштаб 1:2, I4

Объективы Schneider Componon S , $f = 240$ мм, F/16.

Глубина резкости - 5 мм.

Разрешающая способность - 30 мкм.

Параметры следа: Диаметр пузырька - 40÷50 мкм, плотность следа - 70 пузырьков/см.

2.2. Камера "V I B C". - Рис. 3.

/ Verne Infinitesimal Bubble Chamber /

Тип камеры: прецизионная, быстроциклирующая.

Среда в камере: фреон C_3F_8 .

Размеры камеры: ϕ 65 мм, Н = 35 мм.

Конструкция: металл + стекло.

Частота циклов расширения: 5 Герц.

Освещение: сквозное.

Параметры следа: диаметр пузырька 30 мкм, плотность 300 пузырьков/см.

Новая разработка: Лазерное освещение, голографический съем информации с резким изображением полного объема камеры.

Минимальный диаметр пузырька - 8 мкм.

2.3. Камера "Н О / Б В С" (проект). - Рис. 1.

(Голографическая лексановая пузырьковая камера).

Тип камеры: прецизионная, криогенная, быстроциклирующая .

Среда в камере: водород.

Размеры камеры: \emptyset 120 мм.

Конструкция камеры: камера склеена из лексана.

Освещение: Сквозное, лазерное.

Съем информации: Голография. Резкое изображение полного объема камеры.

3. ПРОЕКТ ПРЕЦИЗИОННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ЛВЭ ОИЯИ

В Объединенном институте ядерных исследований планируется создание прецизионной быстроциклирующей камеры, основные параметры которой представлены в таблице и в описании.

3.1. Основные параметры прецизионной камеры ЛВЭ ОИЯИ

№ п/п	ПАРАМЕТР	1-ый этап (эксперимент. образец)	2-ой этап (камера)
1.	Размеры объема	\varnothing 200 мм, Н=50 мм	
2.	Емкость корпуса	1,6 литра	
3.	Материал корпуса	лексан	
4.	Среда в камере	водород, дейтерий, неон, неон-водородная смесь	
5.	Теплоизоляция	высокий вакуум	
6.	Направление расширения	Вдоль оптической оси	
7.	Механизм расширения	Торцевая стенка на омега-сильфоне	
8.	Частота расширения камеры	До 10 Герц	30-60 Герц
9.	Частота фотограф.	1 Герц	10 Герц
10.	Фоторегистрация	Стереодофотограмметрия	Стереотенеграфия или голография.
11.	Освещение объема	Темнопольное, напросвет	
12.	Масштаб фотограф.	1/3 - 1/4	1/1 - 1/4
13.	Фотопленка	50 мм, без перфорации	
14.	Разрешение в плане и глубина слоя	30-40 мкм на 4-5 мм	10 мкм по всей глубине
15.	Стереугол	15°-20°	
16.	Магнитное поле - сверхпроводящий соленоид		5.0 тесла

3.2. Состав оборудования

По сравнению с традиционными "классическими" криогенными пузырьковыми камерами состав оборудования данной установки существенно не отличается. Он включает следующие узлы:

1. Собственно камера.
2. Система расширения.
3. Криогенная система.
 - а) ожижительная установка
 - б) хранилища рабочих сред
 - в) насосно-компрессорное хозяйство
 - г) аварийный выброс
 - д) вакуумная система
 - е) система анализа чистоты сред
 - ж) приборы газового анализа взрывоопасных сред.
4. Газовые пульты установки.
5. Система электронного управления и диагностирования режима установки.
6. Вспомогательное оборудование.
7. Оптико-механические системы, фотограмметрические устройства.
8. Сверхпроводящий магнит.

Сооружение быстроциклирующей прецизионной криогенной камеры планируется по нижеследующим этапам:

1. Создание экспериментального образца камеры (1982-1983 гг).
2. Создание камеры в сверхпроводящем магните с классической системой фоторегистрации (1983-1984 гг).
3. Создание камеры с голографической системой фоторегистрации.

В итоге первого этапа разработки должна быть создана рабочая модель прецизионной криогенной камеры, без магнитного поля, пригодная для использования в физическом эксперименте.

3.3. Конструкция камеры

Особенностью конструкции камеры является точность локализации изучаемых событий и её быстроцикличность.

Эти требования означают, что особое внимание должно быть обращено на:

- а) организацию движения среды при осуществлении процессов расширения и термостатирования камеры (минимизация скорости движения среды, обеспечение движения преимущественно вдоль оси фотографирования);
- б) высокую степень "чистоты" объема камеры (минимизация паразитного кипения среды);
- в) тщательную проработку вопросов долговечности и надежности в связи с высоким быстродействием камеры, а также вопросов устранения вибраций в узлах камер (например, оптических).

Планируемое в ряде экспериментов использование камеры, как части гибридного спектрометра, совместно со сложными электронными регистраторами, выдвигает дополнительную непростую задачу минимизации вещества на пути частиц, вылетающих из рабочего объема камеры. Учет этого обстоятельства также будет одним из факторов, определяющих особенности её конструкции. Вариант компоновки камеры представлен на рис. 4.

Кожух камеры:

Базовым узлом конструкции является кожух. Это металлический тонкостенный вакуумно-плотный сосуд, теплоизолированный изнутри.

В него заключены собственно камера, катушки сверхпроводящего магнита, узлы оптической и расширительной систем, а также некоторые устройства и узлы криогенных систем установки. Вместе с тем, кожух выполняет функцию монтажно-силовой оболочки. Два тонких "окна", расположенные диаметрально, обеспечивают ввод пучка частиц

в камеру и вывод продуктов их взаимодействия для регистрации электронным детектором.

Система расширения

Согласно схеме (рис. 4), механизм расширения размещен снизу объема камеры, на её вертикальной оси. Расширение среды осуществляется за счет движения стенки камеры.

Предложенное решение позволит снизить степень возмущающего воздействия движения среды, вызванного движением стенки, на точность локализации событий.

На первом этапе создания механизм расширения будет обеспечивать до десяти, а в дальнейшем до шестидесяти циклов в секунду. Такой режим работы системы расширения будет реализован с помощью специального гидравлического привода. Его разработка представляет собой отдельную задачу, распадающуюся на ряд пунктов, из которых узловыми являются быстроцикличность и долговечность, а также стабильность действия системы.

Криогенные системы камер

К ним относятся:

1. Устройства вакуумирования объемов;
2. Устройства охлаждения, наполнения и эвакуации конденсированных сред;
3. Система термостатирования;
4. Устройства аварийного выброса;
5. Пульты управления криогенными устройствами.

Все перечисленные узлы установки будут решены традиционным образом, как это осуществляется в известных пузырьковых криогенных камерах с помощью типовых аппаратов и устройств криогенной техники.

В ходе проектирования установки будут разработаны также сис-

темы, решающие вопросы совместного экономического действия криогенных систем камеры и магнита.

0 режиме трекочувствительности

Прототипом режима создаваемой камеры принят режим быстроциклирующей пузырьковой камеры, созданной в ЦЕРН-е /V/, который характеризуется нижеследующими параметрами (рис. 5):

- а) полное время цикла - 5 мсек,
- б) ширина плато в минимуме давления - 500 мксек,
- в) число пузырьков - до 100 см^{-1} ,
- г) время роста пузырьков - $100 \div 500$ мксек,
- д) диаметр пузырьков - $20 \div 65$ мкм.

При выборе режимов работы системы расширения создаваемой установки предполагается, наряду с непрерывным режимом, рассмотрение пульсирующего режима работы, когда, совершив заданное число расширений, механизм останавливается для термостатирования детектирующей среды на необходимое для этого время, а затем включается вновь на то же заданное число циклов.

0 точности локализации. Как сказано выше, предусматривается расширять среду камеры путем перемещения стенки (мембраны) корпуса камеры.

Средняя скорость движения среды при этом, примерно, равна средней скорости движения мембраны. При ходе мембраны - $h = \pm 0.5 \text{ мм}$ и времени сброса давления (рис. 5) /V/ $\tau = 2,5$ мсек эта скорость будет $v = 0,2 \text{ мсек}^{-1}$. За время экспозиции на рост пузырьков, которое может варьироваться от 100 до 500 мксек, центр пузырька способен сместиться на $20 \div 100$ мкм.

Точность локализации отдельных пузырьков зависит и от их диаметра, который в свою очередь, существенно определяется отсутствием паразитического кипения. Но это требование наилучшим образом

реализуется в "чистой" камере. Современная техника позволит получить и зафиксировать в такой камере пузырьки диаметром до 10 мкм. Именно поэтому и предполагается склеить камеру из лексана.

/I/ CERN / SPSC 78-103, 1978.

3.4. ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

На первом этапе создания прецизионной криогенной пузырьковой камеры для регистрации следов частиц планируется применить классическую стереофотограмметрическую аппаратуру, а на втором - голографическую или тенеграфическую аппаратуру. Аппаратура первого типа принципиально не может обеспечить высокого разрешения по полной глубине камеры, но необходима для отработки всей установки в целом и в рабочих условиях на пучке ускоренных частиц. Аппаратура второго или третьего типа более перспективна для достижения необходимого разрешения в глубоком слое, но может быть применена на первом этапе создания камеры, поскольку требует поиска технических решений, макетирования и методических исследований до разработки рабочего образца.

В качестве возможных вариантов оптической системы могут рассматриваться приведенные на фигурах 6-11 некоторые известные системы съема информации на фотоноситель: классические (6,7), тенеграфические (8-10) и голографическая (11).

Во всех этих схемах применяется сквозное освещение объема камеры, как обеспечивающее достижение более высокого контраста изображения и удобное для устранения паразитных засветок. Применение авторефлекторных схем освещения объема камеры не исключено, если для этого будут серьезные основания.

3.4.1. Классическая стереофотограмметрическая система

Как известно, обычная классическая оптическая система строит изображение объекта с разрешением, которое связано с длиной волны света λ и глубиной резкости D следующим образом [1]:

$$\text{разрешение} = 0,61 \sqrt{\lambda D}$$

Например, для $\lambda = 0,5$ мкм разрешение в 30 мкм можно получить в слое толщиной $D = 5$ мм.

Экспериментальная проверка возможности достижения разрешения была проведена на камере Δ ЕВС в ЦЕРН-е. Было установлено [2], что пузырьки диаметром d_{eff} могут быть зарегистрированы с хорошей контрастностью в слое толщиной

$$D_{\text{eff}} = 5 (d_{\text{eff}})^2,$$

что для $d_{\text{eff}} = 30$ мкм опять приводит к $D_{\text{eff}} \approx 5$ мм.

Эти данные дают реальную оценку возможности достижения разрешения посредством классической оптической системы.

Возможно достижение и большего разрешения посредством классической оптической системы, но ценой сокращения глубины фотографируемого слоя, что нецелесообразно из-за трудностей локализации в тонком слое пучка частиц высокой энергии. На снижение эффективности регистрации частиц в тонком слое окажет отрицательное влияние и наличие aberrаций в оптической системе (астигматизм, кривизна поля и др.).

Несмотря на ограничения по глубине резкости или разрешению создание прецизионной камеры с классической оптической системой на первом этапе представляется целесообразным по двум следующим причинам.

а) Создание классической стереофотограмметрической аппаратуры не представляет собой каких-либо принципиальных трудностей и поэтому может ускорить реализацию проекта камеры в целом.

б) Оснащение камеры какой-либо иной системой съема информации, например, голографической системой, не исключает необходимости одновременного применения и обычной стереофотограмметрической аппаратуры, например, для целей настройки режима образования пузырьков, настройки пучка частиц, контроля режима работы камеры.

Не исключено, что при голографировании объема камеры потребуются одновременное применение обычного фотографирования, например, для целеуказания и отбора голограмм для просмотра.

Простейшая система фотографирования со сквозным освещением объема камеры через два плоских иллиминатора посредством фотокамер с параллельными осями представлена на фигуре 6. Ориентировочные параметры такой системы могут быть следующие:

- масштаб фотографирования $\sim 1/3$,
- ширина пленки - 50 мм,
- фокусное расстояние объективов - 250 мм,
- высота фотографирования - 1000 мм,
- базис стереосъемки - 200 мм,
- стереоугол - 11° ,
- угол поля зрения объективов - 25° .

Равную точность по всем трем координатам может обеспечить система фотографирования, оси фотокамер в которой скрещены под прямым углом (фигура 7).

Для обоих вариантов классической системы фотографирования планируется сквозное освещение объема камеры по направлению на объектив фотокамеры. Темнопольное освещение объема камеры в этих случаях может быть достигнуто введением диафрагмы или смещением направления освещения в сторону от объектива.

В качестве источников света планируется применить импульсные лазеры по двум соображениям:

- для классической системы фотографирования лазер предпочтительнее, как точечный источник высокой яркости;
- для голографической системы съема информации лазер необходим, как источник когерентного света.

В состав оптической системы также входят:

- устройства для впечатывания на пленку служебной информации (номер кадра, стоп-марки, стартовые кресты для системы сканирования, реперные кресты и др.);
- устройства для контроля сборки камеры совместно с оптической системой;
- устройства для визуального или телевизионного контроля режима работы камеры.

3.4.2. Тенеграфическая оптическая система

Определенные перспективы для регистрации следов в прецизионной пузырьковой камере имеет тенеграфическая оптическая система³⁻⁶. Такая система позволяет увеличить глубину фотографируемого объема по сравнению с классической системой фотографирования и не требует для обработки тенеграмм специальной аппаратуры для просмотра и измерений. Возможности применения такой оптической системы в настоящее время изучены недостаточно, в связи с чем необходимы работы по разработке и исследованию тенеграфической оптической системы.

Некоторые из возможных схем получения теневых изображений следов частиц в пузырьковой камере представлены на фигурах 8 - 10. Для повышения точности измерения глубинной координаты следов по тенеграммам рекомендуется увеличить угол между двумя теневыми проекциями (стереоугол) вплоть до 90° (фиг. 10).

В связи с изложенными основаниями в данной работе планируется проведение методических исследований возможности применения тенеграфического метода съема информации для прецизионной камеры на

первом этапе её создания и, в случае успеха, разработка тенеграфической аппаратуры - на втором.

3.4.3. Голографическая оптическая система

Как известно, главное преимущество голографической системы съема информации перед классической состоит в том, что глубина фотографируемого объема определяется длиной когерентности облучающего объект светового потока^{/7-II/}, которая для современных лазеров существенно превышает глубину предлагаемой прецизионной камеры^{ж)}. По этой причине проект создания прецизионной камеры предусматривает разработку голографической системы съема информации, но на втором этапе реализации проекта. Одна из возможных схем голографирования камеры представлена на фигуре 11.

Применение голографии для регистрации следов частиц в прецизионной пузырьковой камере предопределяет необходимость разработки специальных устройств для просмотра голограмм и для измерения параметров следов по голограммам.

3.4.4. Комбинированная оптическая система

Не исключено, что для регистрации следов в прецизионной пузырьковой камере окажется полезным одновременное использование двух оптических систем - классической и голографической, т.е. комбинированной оптической системы. Назначение классической системы в этой комбинации - это облегчение просмотра снимков с целью поиска исследуемых событий, а назначение голографической системы - обеспечение прецизионных измерений параметров найденных событий.

ж) Последние достижения техники голографирования пузырьков в камере ВВС - надежное разрешение пузырьков диаметром 8 мкм в слое 35 мм^{/II/}.

Применение такой комбинированной оптической системы может быть оправдано в том случае, если поиск исследуемых событий по голографическим изображениям окажется слишком трудоемким и (или) требующим применения специальной и сложной аппаратуры.

3.4.5. Фоторегистраторы

На первом этапе реализации проекта создания камеры, т.е. камеры с классической системой фотографирования, планируется использовать для фоторегистрации лентопротяжные механизмы, аналогичные применяемым на одной из действующих камер ЛВЭ, например, ВПК-100.

Повышение эффективности прецизионной быстроциклирующей камеры прямо зависит от быстродействия лентопротяжного механизма и в связи с этим планируется изготовить быстродействующий лентопротяжный механизм, например, аналогичный ЛПМ с установки МИС, который обеспечивает регистрацию с частотой до 10 Герц.

На втором этапе реализации проекта создания камеры, т.е. камеры с голографической системой съема информации, планируется осуществить разработку специального лентопротяжного механизма, поскольку такой механизм по своим характеристикам должен существенно отличаться от обычного ЛПМ, например, размером изображения на фотопленке.

Литература

1. C.M. Fisher, Proc. 2nd Vezelay Workshop on EHS "High resolution vertex detectors", CERN/EP/EHS/PN 80-2, Geneva, 1980, p.74.
2. R. Settles, *ibid.*, p.68.
3. А.П. Андреев и М.Н. Цветаев. Автор. свид. № 158 029. кл. ОI В 15/22 **Бюллетень № 20, 1963 г.**
4. М.В. Стабников и М.А. Томбак. Автор. свид. № 717 682, кл. ОI Т 5/06 **Бюллетень № 7, 1980 г.**
5. V.S. Kozlov et al., Nucl. Instr. Meth. 140 /1977/ 125.
6. А. Будзяк и др. ОИЯИ, I-80-299, I-80-303, Дубна, 1980.
7. W.T. Welford, APPJ. OPT. 2, № 10, p.981, 1963.

8. W.T. Welford , APPZ. OPT. 5, № 5, p.872, 1966.
9. М.В.Стабников , D10-6142, ОИЯИ, Дубна, 1971.
10. Frederick R. Eisler, Nucl.Instr.Meth. 163, p.105-III, 1979.
11. M. Dykes et al., Nucl.Instr.Meth. 179, (1981), 487-493.

3.5. СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ МАГНИТНАЯ СИСТЕМА

3.5.1. Общие замечания- обоснование

Размещение рабочего объема прецизионной пузырьковой камеры в постоянном магнитном поле значительно расширяет экспериментальные возможности такого прибора. Для исследований в области энергий порядка нескольких ГэВ на нуклон (эксперименты по релятивистской ядерной физике на синхротроне ЛБЭ и, в дальнейшем, на УКТИ), камера в магнитном поле становится автономным физическим прибором, позволяющим получать полную картину регистрируемых взаимодействий. Ввиду небольших размеров камеры, магнитное поле должно быть достаточно сильным - порядка 4 - 5 Тесла. Ниже приводится анализ точностей измерения импульсов частиц в таком поле.

Для исследований в области высоких энергий (У-70 ИФВЭ) и очень высоких энергий (УНК) магнитное поле отклонит в сторону медленные заряженные частицы обоих знаков, возникающие от фрагментации ядрамишени, практически не оказывая влияния на быстрые частицы от фрагментации снаряда. При энергиях сотен ГэВ и выше, где ожидаются очень большие множественности вторичных частиц, это существенно для анализа полученных снимков^{ж)}.

ж) Авторы благодарны А.М.Моисееву за обращение нашего внимания на это обстоятельство.

3.5.2. Точность измерения импульсов в камере

Точность измерения импульса заряженной частицы в пузырьковой камере дается формулой ^{1/}

$$\frac{\Delta p}{p} = \left(\frac{3,6 p^2 \epsilon^2}{B^2 L^4} + \frac{2,6 \cdot 10^3}{B^2 L X_0} \right)^{1/2}$$

Здесь ϵ - точность измерения координат в камере в мкм,

B - напряженность магнитного поля в кГаусс,

L - длина трека в см,

X_0 - радиационная длина в см.

Первый член в этой формуле дает ошибку, связанную с неточностью измерений координат в камере, второй член - ошибку, связанную с многократным рассеянием.

Ошибка, возникающая вследствие радиационных потерь, которая существенна только для электронов, не учитывается.

В таблице I приводятся результаты подсчета $\Delta p/p$ при следующих значениях параметров:

$$\epsilon = 10 \text{ мкм}$$

$$B = 5 \text{ Тесла} = 50 \text{ кГаусс}$$

$$L = 10 \text{ см}$$

$$X_0 = 10^3 \text{ см для жидкого водорода}$$

$$X_0 = 24 \text{ см для жидкого неона.}$$

Для ориентировки, в таблице также приведены значения радиуса кривизны трека для однозарядной частицы:

$$R = \frac{1}{0,3} \frac{p}{B}$$

и стрелы прогиба

$$s = L^2/8R .$$

^{1/} Н. Wenninger, Н. Leutz, CERN/TCC/71-14, Geneva, 1971.

Таблица I

Точности измерения импульса заряженных частиц в прецизионной пузырьковой камере в магнитном поле Н=5 Тесла

p, ГэВ/с	R, м	s, мм на длине L=0; I м	$\Delta p/p, \%$ на длине L=0, I	
			для H ₂	для He
0,5	0,33	3,75	1,0	6,6
1	0,67	1,88	1,1	6,6
2	1,33	0,94	1,3	6,6
5	3,33	0,38	2,2	6,9
10	6,67	0,19	3,9	7,6
20	13,33	0,09	7,7	10,0

3.5.3. Конструкция сверхпроводящего магнита

По предварительным оценкам сверхпроводящий соленоид с индукцией в центре 4-5 Тл для прецизионной криогенной пузырьковой камеры может быть выполнен в форме двух катушек с диаметрами 400/600 мм и высотой 50 мм, расположенных на расстоянии друг от друга в 100 мм и навитых на шинки.

Для изготовления такого соленоида потребуется 6 - 8 км шинки сечением 3x1 мм² (критический ток 600 А в поле 5 Тл).

В комплект сверхпроводящей магнитной системы (СМС) войдут: криостат с тоководами, источник электропитания, приборы, емкости для жидкого азота (500 л) и жидкого гелия (1-2 шт по 500 л), вакуумные насосы (2 шт), электрическое и газовое устройства защиты, пульты управления, узлы и детали технологической схемы, указатели уровня, термометры и др. Общая стоимость СМС оценивается в 125 - 140 тыс. рублей.

4. ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРЕЦИЗИОННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ.

4.1. Отбор информации для измерений (просмотр).

На первом этапе планируется получать с прецизионной пузырьковой камеры обычные стереофотоснимки на стандартной фотопленке шириной 50 мм с соответствующей служебной информацией, необходимой для просмотра и измерения этих снимков на стандартной аппаратуре ЛВТА ОИЯИ. В этом плане не возникает каких-либо новых задач, связанных с аппаратурой для просмотра снимков с прецизионной камеры. Не исключено, что в дальнейшем окажется целесообразным создание устройства для просмотра снимков с прецизионной камеры с тем, чтобы не увеличивать дефицит времени просмотрного оборудования ЛВТА.

Если для регистрации событий в прецизионной пузырьковой камере будет применен тенеграфический метод, стереотенеграфические снимки с камеры не потребуют каких-либо новых условий для их просмотра, т.е. смогут обрабатываться так же как и обычные стереофотограмметрические снимки.

На втором этапе для реализации голографического способа съема информации с прецизионной камеры предстоит создание специальной аппаратуры для поиска событий на голограммах, однако, определение конкретных требований к такой аппаратуре на данной стадии работы преждевременно.

4.2. Измерения на обычных снимках и тенеграммах

На первом этапе работы прецизионной камеры с классической системой стереофотографирования для достижения разрешения в 30-40 мкм измерение фотоснимков может быть осуществлено на стандартном оборудовании ЛВТА (ПУОС-ы, НЦД), имеющем отсчетные устройства с ценой деления в 2,5 мкм.

Повышение точности измерений координат объекта съемки до 10 мкм

4. ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРЕЦИЗИОННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ.

4.1. Отбор информации для измерений (просмотр).

На первом этапе планируется получать с прецизионной пузырьковой камеры обычные стереофотоснимки на стандартной фотопленке шириной 50 мм с соответствующей служебной информацией, необходимой для просмотра и измерения этих снимков на стандартной аппаратуре ЛВТА ОИЯИ. В этом плане не возникает каких-либо новых задач, связанных с аппаратурой для просмотра снимков с прецизионной камеры. Не исключено, что в дальнейшем окажется целесообразным создание устройства для просмотра снимков с прецизионной камеры с тем, чтобы не увеличивать дефицит времени просмотрного оборудования ЛВТА.

Если для регистрации событий в прецизионной пузырьковой камере будет применен тенеграфический метод, стереотенеграфические снимки с камеры не потребуют каких-либо новых условий для их просмотра, т.е. смогут обрабатываться так же как и обычные стереофотограмметрические снимки.

На втором этапе для реализации голографического способа съема информации с прецизионной камеры предстоит создание специальной аппаратуры для поиска событий на голограммах, однако, определение конкретных требований к такой аппаратуре на данной стадии работы преждевременно.

4.2. Измерения на обычных снимках и тенеграмах

На первом этапе работы прецизионной камеры с классической системой стереофотографирования для достижения разрешения в 30-40 мкм измерение фотоснимков может быть осуществлено на стандартном оборудовании ЛВТА (ПУОС-ы, НЦД), имеющем отсчетные устройства с ценой деления в 2,5 мкм.

Повышение точности измерений координат объекта съемки до 10 мкм

в пространстве объекта потребует соответствующего повышения точности измерений изображений на стереофотоснимках или стереотенограммах. Такое требование может быть удовлетворено посредством оборудования измерительных устройств ЛВТА отсчетными устройствами с ценой деления в 1 мкм, которые, например, выпускаются фирмой Хайденгейн (ФРГ).

4.3. Обработка голограмм

Измерение координат исследуемых событий по голограммам потребует разработки специального измерительного микроскопа с тремя степенями свободы движения.

Реконструкция голограммы требует её освещения монохроматическим светом от лазера постоянного действия (например, лазера гелий-неонового). Действительное изображение голограммы может быть исследовано "послойно" с помощью просмотрово-измерительного микроскопа. Для анализа голограмм из камеры ВИС дополнительно использовалась телевизионная камера (см. рисунок), причём, увеличение на экране телевизионного монитора было 120- или 500-кратное.

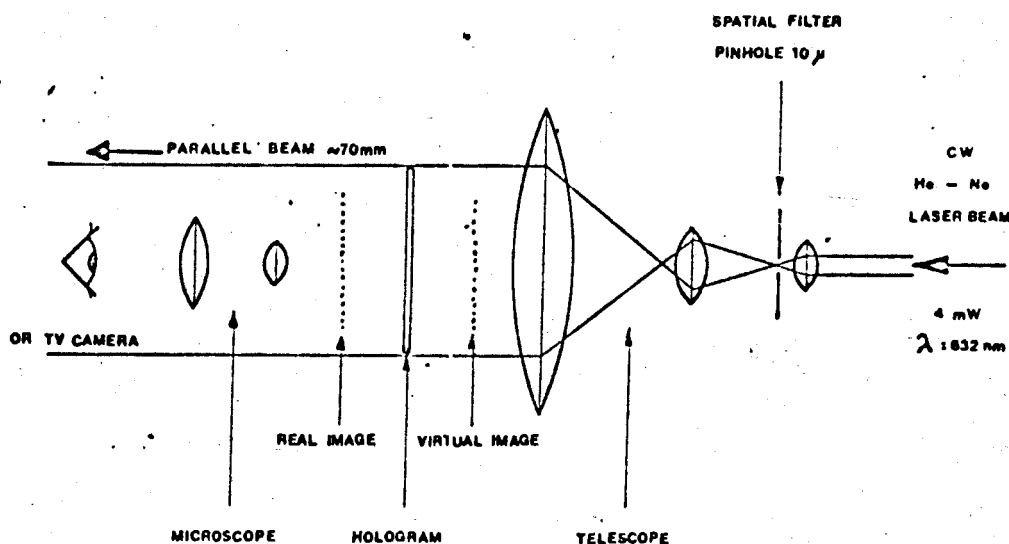


Схема оптической системы обработки голограмм из камеры ВИС (M. Dykes et al., Nucl. Instr. and Meth. 179 /1981/ 487.)

Можно ожидать, что в будущем будут разработаны алгоритмы для анализа голограмм без их оптической реконструкции.

5. ПУЧОК И ТРИГГЕР

5.1. Эксперименты на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ.

Высокая цикличность пузырьковой камеры, с частотой повторения расширений в десятки герц, налагает определенные требования на совместность её работы с синхрофазотроном. Наиболее оптимальным является вариант работы в режиме медленного вывода с синхронизацией пучка и временного интервала чувствительности камеры с помощью дозирующего импульсного магнита (кикера).

На рис. 12 приведена схема эксперимента. Пучок частиц из синхрофазотрона фокусируется в зазор импульсного магнита (ИМ) и во время подачи токового импульса отклоняется и формируется на камере аппаратными коллиматорами (К) и магнитооптическими элементами (М). Синхронизация работы достигается за счет одновременной высокоциклической работы камеры и кикера.

Для проведения первого этапа эксперимента предполагается использовать имеющийся кикер-магнит L' . Второй этап эксперимента требует разработки и создания высокочастотного магнита вместе с системой питания, коммутации и управления. Полная стоимость кикер-магнита оценивается в 25 тысяч рублей.

Выбор триггера целиком зависит от физической программы, и для первых экспериментов на синхрофазотроне, рассмотренных в главах 6.1 - 6.2, не потребует создания новой регистрирующей аппаратуры. Более сложный триггер, например, К-мезонный, описан в предложении для установки "СКМ-200" ^{/2/}.

Литература

1. В.В.Глаголев и др. Препринт ОИЯИ 13-3422, Дубна, 1967.
2. Э.О.Оконов. Депонированная публикация ОИЯИ, Б1-1-11423, Дубна, 1978.

5.2. Эксперимент на протонном синхротроне ИФВЭ.

Для экспериментов на протонном синхротроне ИФВЭ или при планировании будущих исследований на ускорительно-накопительном комплексе (УНК) быстроциклирующую прецизионную камеру следует рассматривать как часть (вершинный детектор) сложной установки на базе широкоапертурного магнитного спектрометра.

В качестве примера в главе 6.4 рассмотрен эксперимент; в котором предлагается с помощью такой камеры исследовать фоторождение короткоживущих частиц с открытым очарованием. Схема опыта показана на рис. 13. Пучок электронов, образованных на внутренней мишени и конверторе в ускорителе, формируется на базе магнитооптического канала $2E/I$. В радиаторе (R) электроны создают фотоны со спектром тормозного излучения, коллимируются и направляются на камеру.

Основные расчетные параметры пучка следующие: /2/

1. Центральный импульс электронов $P_e = 40 \text{ ГэВ/с}$;
2. Полезный поток электронов $- 10^6 / 10^{12} P$;
3. Длительность фотонного пучка в цикле ускорителя $- 1 \text{ сек}$;
4. Полезный поток фотонов в интервале энергий $10-40 \text{ ГэВ/с}$ $- 2 \cdot 10^5 / 10^{12} P$;
5. Размер фотонного пучка на камере $4 \times 100 \text{ мм}^2$.

Синхронизация работы быстроциклирующей камеры с ускорителем осуществляется существующей в ИФВЭ методикой и не требует создания внешних устройств.

Для целеуказания акта рождения короткоживущей частицы в камере а также определения динамических характеристик реакции, в эксперименте предлагается использовать сложный комплекс спектрометрической аппаратуры. Основой установки может быть, например магнитный искровой спектрометр ИТЭФ/3/, реконструированный для бесфильмового съема информации. Для

идентификации акта взаимодействия и природы вторичных частиц необходимо создать: систему мечения гамма-квантов (на рис. 13 - пропорциональные камеры ПК₁, ПК₂ на базе магнита СП94), два пороговых черенковских счетчика и гамма детектор. Вместе с электронной аппаратурой, выделяющей неупругое событие в камере с числом частиц $n > 2$, спектрометрическая аппаратура создает триггер. Совпадение триггера с временным интервалом чувствительности камеры даст сигнал для работы всей установки - фоторегистрирующей системы и аппаратуры считывания данных спектрометра и различных детекторов.

Рассмотренный кратко пример эксперимента показывает, что для его осуществления требуются солидные ресурсы, которые должны быть равномерно распределены между несколькими крупными физическими центрами.

Хорошее представление о подобном эксперименте дает работа сотрудничества на базе европейского гибридного спектрометра EHS /4/

Литература

1. S.S.Gerstein et al. Nucl. Instr. Meth., 112 (1973) 477.
2. В.А.Маишеев и др. Препринт ИФВЭ 74-149, Серпухов (1974).
В.А.Маишеев и др. Препринт ИФВЭ 75-116, Серпухов (1975).
3. Е.В.Болонкин и др. Препринт ИТЭФ № 86 (1973).
В.В.Владимирский и др. ПТЭ, т.5 (1973) 55.
4. Proc. 2nd Vezelay Workshop on EHS "High Resolution Vertex detectors", CERN/EP/EHS/PH 80-2, Geneva, 1980.

6. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ.

На данном этапе работы по созданию прецизионной пузырьковой камеры обсуждение конкретных экспериментов посредством такой камеры преждевременно. Полезность создания такой камеры можно проиллюстрировать отдельными примерами ее применения в некоторых физических экспериментах. Ниже приводятся такие примеры в порядке возрастающей сложности установок.

6.1. Аномальные сечения взаимодействия релятивистских ядерных фрагментов.

В работах Фридлендера с сотрудниками^{/1/} было обнаружено, что средняя длина взаимодействия релятивистских ядерных фрагментов уменьшается на расстоянии первых нескольких сантиметров от первичного взаимодействия. Этот очень интересный результат был получен с использованием ядерных эмульсий, облученных пучками ^{16}O и ^{56}Fe с энергией $E/A = 2$ ГэВ. Увеличение сечения взаимодействия "молодых" фрагментов указывает, по мнению авторов данной работы, на примесь "аномальных" фрагментов, возможно сильно возбужденных, которые имеют среднюю длину взаимодействия в 10 раз короче "обычной" и возвращаются в "нормальное" состояние за время, порядка, 10^{-11} сек. Некоторые авторы пытаются объяснить этот эффект переходом ядра в кварковую фазу с неплотной пространственной структурой, т.е. большими геометрическими размерами^{/2/}.

Подтверждение результатов этой работы в независимом эксперименте было бы очень важным. Для такой задачи небольшая прецизионная пузырьковая камера является подходящим прибором, так как согласно авторам работы^{/1/}, эффект наблюдается на расстоянии порядка нескольких сантиметров.

Следует отметить, что для данных исследований целесообразно использовать рабочую среду с малым значением A . Как известно^{/3/}, сечения взаимодействия релятивистских ядер довольно хорошо описываются формулой Брэдта-Питерса, полученной из геометрической модели твердых тел с перекрытием^{/4/}.

$$\sigma(A_1, A_T) = \sigma_0 (A_1^{1/3} + A_T^{1/3} - B)^2$$

где A_1 - масса падающего ядра, A_T - масса ядра мишени, σ_0 и B - константы. Из этой формулы видно, что отклонение величины сечения от геометрической, вызванное изменением сечения падающего ядра, будет наиболее заметным для $A_1 \gg A_T$, т.е. в среде с небольшим массовым числом. Это условие легко выполняется в пузырьковой камере с легкой рабочей жидкостью, тогда как в ядерных эмульсиях, наоборот, большинство взаимодействий происходит на тяжелых ядрах брома ($A = 80$) и серебра ($A = 108$).

Подобные исследования посредством двухметровой пропановой пузырьковой камеры, облученной в пучке ядер углерода с импульсом $p/A = 4,2$ ГэВ/с^{/5/}, не привели к подтверждению наблюдаемого в работе^{/1/} эффекта. Причина этого, возможно, состоит в том, что из-за невысокой разрешающей способности камеры, на расстоянии нескольких сантиметров от вершины первичного взаимодействия наблюдается слияние соседних треков, что ограничивает возможность измерения сечения взаимодействия вторичных фрагментов с временами возбуждения

$$\tau \leq 10^{-10} \text{ сек.}$$

Данная задача может быть успешно решена посредством предлагаемой прецизионной пузырьковой камеры. Камеру целесообразно облучать в пучках ядер ^{16}O и ^{20}Ne . Для отбора исследуемых событий требуется самый простой триггер на неупругое взаимодействие первичного ядра. Для данной задачи необязательно иметь быстродействующую

камеру, поскольку изучаются процессы с большими сечениями:

$$\sigma_{in}(Cp) = (250 \pm 15) \text{ мб}^{/3/},$$

$$\sigma_{in}(Ca) = (400 \pm 20) \text{ мб}^{\#},$$

$$\sigma_{in}(CNe) = (1040 \pm 60) \text{ мб}^{/7/}.$$

Многозарядные фрагменты в этих процессах испускаются с довольно большой вероятностью, например, для $C + C_3H_8$ в $(33 \pm 3)\%$ всех звезд наблюдаются фрагменты с $z \geq 3$, а в $(25 \pm 3)\%$ фрагменты с $z \geq 4^{/5/}$.

ж) $(380 \pm 20) \text{ мб}^{/3/}$ или $(426 \pm 22) \text{ мб}^{/6/}$.

Литература

1. E.M.Friedlander et al. Phys. Rev. Lett., 45 (1980) 1084.
2. A.L.Robinson. Science, 210 (1980) 174.
3. E.P.Abdрахманов et al. Z.Phys. C5 (1980) 1.
4. H.L.Bradt, B.Peters. Phys. Rev. 77 (1950) 54.
5. G.N.Agakishev et al. JINR, P1-81-79, Dubna, 1981.
6. J.Jaros et al., Phys. Rev. C18 (1978) 2273.
7. V.D.Aksinenko et al. JINR, E1-12713, Dubna, 1979.

6.2. Исследование медленных частиц в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях.

Медленные протоны и другие фрагменты, испускаемые из ядра мишени в результате взаимодействия, несут интересную информацию о механизме передачи энергии от быстрого адрона (или ядра) к покоящемуся ядру. Экспериментальное изучение характеристик медленных частиц в эмульсии, где они хорошо наблюдаются, затруднительно потому, что ядро-мишень определяется неоднозначно, а в пузырьковой камере, например, ксеноновой, практически наблюдаются только частицы с энергией выше энергии испарения.

Прецизионная пузырьковая камера, наполненная, например, жидким неонам даст возможность получить информацию об испускании медленных частиц во взаимодействиях быстрых адронов и ядер с точно определенным ядром-мишенью. В этом направлении, в частности, можно изучать следующие задачи:

- а) Энергетический спектр медленных протонов в области до примерно 100 МэВ - сепарация процессов испарения и выбивания;
- б) Корреляции между вторичными протонами и фрагментами - оценка вклада процесса перерасеяния внутри ядра;^{/1/}
- в) Процесс выбивания нуклонов из ядра.^{/2/}

Облучая прецизионную камеру разными пучками частиц (адронами и ядрами) можно изучать зависимость процесса испускания протонов от сорта и энергии падающей частицы или ядра. Для этой задачи нужен простой триггер - на неупругие взаимодействия пучковых частиц в мишени. В этой задаче не требуется быстроедействие установки, так как

эти процессы идут с большими сечениями. Для $p/A = 4,5$ ГэВ/с

$$\sigma_{in}(\pi^- Ne) = (320 \pm 12) \text{ мб}^{ж)}$$

$$\sigma_{in}(p Ne) = (380 \pm 20) \text{ мб}^{жж)}$$

$$\sigma_{in}(^4He Ne) = (615 \pm 40) \text{ мб}^{/3/}$$

$$\sigma_{in}(C Ne) = (1040 \pm 60) \text{ мб}^{/4/}$$

ж) Экстраполяция от $\sigma(\pi^- C)$ к $\sigma(\pi^- Ne)$.

жж) Экстраполяция от $\sigma(p C)$ к $\sigma(p Ne)$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. J. Babecki and B. Furmańska, INP. No. 754/PL, Cracow, 1971.
2. Z. Strugalski, JINR, E1-80-215, Dubna, 1980.
3. M. Kh. Anikina et al., JINR, P1-10592, Dubna, 1977.
4. V. D. Aksinenko et al. JINR, E1-12713, Dubna, 1979.

6.3. Релятивистские гиперядра

Изучение гиперядер является источником интересной информации о взаимодействиях Λ -N, о многобарлонных взаимодействиях в ядре, роли запрета Паули, а также о влиянии связи Λ -гиперона в ядре на время его жизни. Эксперименты по изучению гиперядер до сих пор выполнялись, в основном, посредством ядерных эмульсий, облучаемых медленными K^- -мезонами. В такой постановке эксперимента, гиперядра испускаемые как фрагменты ядер эмульсии, испытавших захват K^- -мезонов, также являются медленными и имеют микронные пробеги в эмульсии, что очень затрудняет их изучение. До настоящего времени удалось наблюдать и идентифицировать по распадам только легкие гиперядра с $Z \leq 7$, причем статистика зарегистрированных гиперядер Λ^C и Λ^N насчитывает всего несколько событий. Так, например, первый надежно зарегистрированный случай рождения и распада гиперядра $\Lambda^{12}C$ был опубликован в недавней работе ЛЯП ОИЯИ [1].

Основной целью экспериментов по изучению гиперядер является определение их энергии связи и времени жизни. Имеющиеся оценки этих величин неточны, а иногда и противоречивы, и получены в основном для самых легких гиперядер изотопов водорода и гелия.

Новые возможности изучения гиперядер открываются благодаря созданию пучков релятивистских ядер. Гиперядра, образованные в реакции $A + B \rightarrow K^+ + A' + B' + \dots$, обладают большой энергией

и, следовательно, должны иметь большие пробеги (для $\tau = (1 + 3) \times 10^{-10}$ сек, $c\tau = (3 \div 9)$ см), что должно обеспечить более точное определение их заряда и их времени жизни. На это обстоятельство было обращено внимание в Дубне еще в 1973 году^{/2-6/} и независимо в США примерно в то же время. Пока единственный эксперимент такого типа был сделан в Беркли^{/7/}. В нем изучалась генерация гиперядер $\Lambda^{16}\text{O}$, $\Lambda^{16}\text{N}$ в пучке ядер ^{16}O с энергией $E/A = 2,1$ ГэВ на полиэтиленовой мишени. Детекторами служили искровые камеры. На основе 22-х зарегистрированных "кандидатов" было оценено сечение образования гиперядер с массовым числом $A = 16$ в (2 ± 1) мкб на нуклон ядра мишени.

Теоретические оценки сечения генерации релятивистских гиперядер приводят к существенно меньшим значениям порядка $10^{-2} \div 10^{-3}$ мкб (для реакции $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ при $E/A = 2,1$ ГэВ $\sigma_{\text{theor}} = 2,6 \times 10^{-3}$ мкб^{/8/})

В ЛВЭ ранее обсуждалось предложение об исследовании релятивистских гиперядер в стримерной камере СКМ-200. В настоящее время эта задача включена в программу исследований на установке ГИЭС.

Использование для данной задачи прецизионной пузырьковой камеры представляется весьма заманчивым. Из-за высокого пространственного разрешения и более надежной оценки с ионизации треков, прецизионная пузырьковая камера может оказаться конкурентноспособной и для решения данной задачи.

Ввиду небольших значений сечений образования гиперядер, существенной является быстроцикличность камеры, обеспечивающая высокую эффективность прибора и приближающая его по конкурентноспособности к управляемым детекторам типа стримерной камеры.

Для отбора гиперядер нужен К-мезонный триггер для запуска по событиям с медленным (останавливающимся в счетчике) K^+ -мезоном. Необходимость создания такого триггера отодвигает этот эксперимент

на следующий этап развития установки с прецизионной пузырьковой камерой.

Литература

1. С.Бунятов и др. ЯФ, 28 (1978) 439.
2. Банник и др. Депон. публикация ОИЯИ Б-2-1-7113, Дубна, 1973.
3. М.Подгорецкий, в кн. "Нуклотрон и релятивистская ядерная физика" изд. ОИЯИ, 8309, стр. 81, Дубна, 1974.
4. Э.Оконов, в кн. "Нуклотрон и ..." изд. ОИЯИ, 8309, стр. 104, Дубна, 1974.
5. Проект развития и автоматизации установки СКМ-200. Деп. публикация ОИЯИ Б1-13-11288, Дубна, 1978.
6. Э.Оконов. Депон. публикация ОИЯИ, Б1-1-11423, Дубна, 1978.
7. K.J.Nield et al., Phys. Rev. C13 (1976) 1263.
8. Л.П.Каптарь, А.И.Титов. ОИЯИ Р2-12455, Дубна, 1979 г.

6.4. Исследования короткоживущих частиц

После открытия в 1974 году J/ψ -мезона^{/1/}, подтвердившего гипотезу о с кварке, в экспериментах по аннигиляции электронов и позитронов на встречных пучках обнаружены, в соответствии с предсказаниями кварковой модели, шесть очарованных D^{\pm} , D^0 , F^{\pm} - мезонов^{/2/} и несколько очарованных барионов^{/3/}. Открытие тяжелого τ -лептона ($m_{\tau} = 1810 \text{ МэВ}/c^2$)^{/4/}, а затем Υ^{\pm} -мезона ($m_{\Upsilon} = 9400 \text{ МэВ}/c^2$)^{/5/} потребовало ввести дополнительно к u, d, s, c еще пару b, t -кварков. Недавно, на ускорителе ПЕТРА в ФРГ обнаружены события с тремя адронными струями интерпретирующиеся как открытие глюонов^{/6/}, ответственных за взаимодействия между кварками. Подобно гамма-квантам - переносчиком электромагнитных взаимодействий, и предсказанным W^{\pm} - мезонам ($m_W = 40 - 80 \text{ ГэВ}/c^2$; $\tau_W \approx 10^{-18}$ сек) - переносчиком слабых взаимодейс-

вий, глюоны также должны иметь целочисленный (в единицах \hbar) спин.

Успешные теоретические разработки, подтверждаемые новыми экспериментами при сверхвысоких энергиях, позволяют развивать единую теорию всех взаимодействий^{/7/}. В этой связи представляют большой интерес теоретические следствия, приводящие к образованию и распаду короткоживущих частиц^{/8/}.

Следует отметить, что новые экспериментальные результаты были достигнуты благодаря созданию комплексной физической аппаратуры, объединившей совершенную электронную технику с прецизионными трековыми детекторами.

В таблице I, взятой из обзора^{/9/}, приведены основные характеристики новых короткоживущих частиц, свойства которых необходимо изучать.

Таблица I

Частицы	время жизни (сек)	Значение сечений рождения для энергии 300 - 400 ГэВ	
charm	$10^{-13} - 10^{-12}$	адр. 20 мкбн χp 1 мкбн	
beauty	$10^{-14} - 10^{-8}$	адр. 100 нб χp 1 нб	
τ -lepton	$10^{-13} - 10^{-12}$	pp 1 нб χp 0,2 нбн	
R-hadron	$10^{-15} - 10^{-12}$	адр. < 1,5 мкбн	

Малые значения времен жизни и сечений рождения новых частиц требуют создания эффективного детектора, имеющего разрешение в несколько единиц мкм. Сейчас, на ускорителях в ЦЕРНе и в Национальной Лаборатории им. Ферми проводятся эксперименты, в которых рождения и распады частиц детектируются в фотоэмульсии, а характерист

распадных частиц - в магнитном спектрометре или в большой пузырьковой камере. Подробно эти опыты описаны в обзоре /10/. Главнейший результат эмульсионных экспериментов, в которых идентифицировано не так много очарованных частиц, состоит в том, что их время жизни, в соответствии с теорией, лежит в пределах 10^{-13} - 10^{-12} сек:

$$\tau_{D^0} = (1,00 \pm 0,52) \cdot 10^{-13} \text{ сек.} \quad \tau_{D^\pm} = (10,3 \pm 4,1) \cdot 10^{-13} \text{ сек.}$$

Различие во времени жизни нейтральных и заряженных D -мезонов указывает на взаимодействие кварков в конечном состоянии при объединении в K -мезоны и пионы, и, как показано в теоретической работе /11/, дает зависимость:

$$\tau(\Lambda_c^+) \leq \tau(D^0) < \tau(D^\pm)$$

Эмульсионные опыты требуют большого времени на просмотр и поиск нужных событий, поэтому в различных лабораториях ведутся работы по созданию стримерной камеры высокого давления /12/ и стримерной прецизионной водородной /13/. Наличие такого прибора было бы весьма полезно для изучения новых короткоживущих частиц.

Как отмечалось во введении, чрезвычайно эффективным инструментом оказалась созданная в ЦЕРНе быстроциклирующая водородная камера /EBC, работающая в составе европейского гибридного спектрометра (EHS) /14/. Обнаруженная и реконструированная на этой установке, в эксперименте NA16 /15/, пара $D^0\bar{D}^0$ -мезонов демонстрирует высокую точность определения кинематических параметров события, что дает возможность измерять время жизни этих частиц с точностью около 2%.

Наличие прецизионной быстроциклирующей водородной камеры позволяет применить её на ускорителе ИФВЭ в Протвино.

В качестве примера рассмотрим процесс инклюзив-

ного фоторождения очарованных частиц в реакции



Имеющиеся экспериментальные данные о рождении D -мезонов в интервале энергий гамма-квантов 50-200 ГэВ^{/16/}, а также оценки, выполненные в ИФВЭ^{/17/}, показывают, что сечение реакции (*) для энергий $E_\gamma = 15$ ГэВ составляет около 100 нанобарн. Напомним, что сечение ядерного фоторождения при этой энергии равно 120 микробарн, а сечение фонового процесса - рождения конверсионных пар - на два порядка больше. Данные по сечениям, а также потоку гамма-квантов, приведенные в главе 5.2 позволяют оценить необходимое время работы на ускорителе для набора приемлемой статистики. Такие оценки показывают, что для камеры ϕ 200 мм и работающей с частотой 40 герц, за сутки работы можно ожидать около десяти событий с рождением пар $D^0\bar{D}^0$ -мезонов. При этом будет около десяти тысяч триггерных запусков спектрометрической аппаратуры и столько же фотографий с неупругими ядерными взаимодействиями в камере. Таким образом, за 30-ти суточный сеанс может быть получено около 300 тысяч фотографий. Ожидается, что предварительная обработка всех событий, зарегистрированных спектрометром, позволит выделить около 30% случаев, имеющих необходимые признаки распада очарованного D -мезона. Дальнейший полный просмотр 100 тысяч фотографий и последующая кинематическая реконструкция событий с учетом данных спектрометра позволит выделить около 100 случаев фоторождения очарованных D -мезонов.

Отметим, что расчетная фоновая загрузка камеры не превысит 10-20 электрон-позитронных пар на фотографию при использовании полного потока гамма-квантов. При этом ожидается одно неупругое ядерно взаимодействие за один цикл ускорителя. Последнее обстоятельство указывает на возможность использования в предлагаемом эксперименте

фоторегистрирующей аппаратуры без особых требований к быстродействию.

В заключение сделаем несколько замечаний.

1. Как уже указывалось, классический оптический съем информации в тонком, (2-4)мм, слое ограничивает разрешение до (20-40) мкм. Это ведет к ограничению порога регистрации частиц с временами жизни меньшими 10^{-13} сек /18/. Голографический съем информации, с разрешением в несколько единиц мкм позволяет уменьшить этот порог, по крайней мере, на порядок.

2. Особенности голографии позволяют сохранить высокое разрешение по всему объему пузырьковой камеры /19/. Поэтому реализация голографического съема информации дает возможность планировать в ИФВЭ исследования редких процессов рождения короткоживущих частиц также и на пучках адронов.

Л и т е р а т у р а

1. J.J.Aubert et al., Phys. Rev. Lett., 33 (1974) 1404.
J.E.Augustin et al., Phys. Rev. Lett., 33 (1974) 1406.
2. G.Goldhaber et al., Phys. Rev. Lett., 37 (1976) 255.
I.Peruzzi et al., Phys. Rev. Lett., 37 (1976) 569.
S.Yamada, Proc. 1977 Intern. Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies, Hamburg, p. 69.
3. BEBC TST Neutrino Coll., Phys. Lett. 93B (1980) 521.
4. M.L.Perl et al., Phys. Rev. Lett., 35 (1975) 1489.
M.L.Perl et al., Phys. Lett. 53B (1976) 466.
5. S.W.Herb et al., Phys. Rev. Lett., 39 (1977) 252.
W.R.Innes et al., Phys. Rev. Lett., 39 (1977) 1240.
6. B.H.Wiik, Proc. Intern. Neutrino Conference, Bergen, Norway, 1979, p. 113.
P.Söding, Proc. EPS Intern. Conf. on High Energy Physics, Geneva, Switzerland, 1979, p. 271.
7. Межд.семинар:"Проблемы физики выс.эн.и квант.теории поля"
Протвино,ИФВЭ,1980.
8. R.Farrar and P.Fayet, Phys. Lett., 76B (1978) 575.
9. M. Boratav, CERN/EP/EHS/PH 80-2, Geneva, 1980, p.2.
10. А.О.Вайсенберг, Природа, 1981, № 4, с. 74.
11. J.L.Cortes, J.S.Guillen, Prepr. Par-LPTHE, Paris, 1980.
12. J.Sandweis et al. Phys. Rev. Lett., 44 (1980) 1104.
13. А.Будзьяк и др., ОИЯИ, I-80-303, Дубна, 1980.
14. Experiment NA13, Phys. Lett., 93B (1980) 509.
15. Experiment NA16, CERN/EP 81-28, Geneva, 1981.
16. M.S.Atiya et al. Phys. Rev. Lett. 43 (1979) 414.
17. В.Г.Картвелишвили и др. ЯФ, 28 (1978) 1315.
В.Г.Картвелишвили и др. Письма в ЖЭТФ, 30 (1979) 81.

18. C.M. Fisher, CERN/EP/EHS/PH 80-2, Geneva, 1980, p.74.
19. F.R.Eisler, Nucl. Instr. and Meth., 163 (1979) p. 105-111.

7. ГРАФИК РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ КРИОГЕННОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ (ПКПК)

№№ п/п	Вид работы	Интервал
I.	Разработка и согласование технических заданий на компоненты экспериментального образца камеры.	1982 г.
	<ul style="list-style-type: none"> - корпус камеры, - кожух камеры, - система расширения, - газовый пульт камеры, - газовый пульт системы расширения, - электронный пульт камеры, - система аварийной сигнализации, - система диагностики режима камеры, - стенд для испытания узлов камеры, - фотокамера со сменными объект., - лентопротяжный механизм на 50 мм, - импульсный осветитель, - блок питания импульсных ламп, - пульт управления лентопротяжным механизмом и осветителем, - тест-объект с точечными дефект., - стенд для испытания различных вариантов системы фотосъемки. 	
2.	Организация сотрудничества - выявление заинтересованных и необходимых организаций и лиц, составление и согласование протоколов.	1981 - 1982 г.
3.	Разработка и согласование сметы финансирования	1981 г.
4.	Заключение договоров на разработку и изготовление узлов камеры	1982 - 1984 г.
5.	Разработка аван-проекта экспериментального образца камеры	1982 г.
6.	Голографирование тест-объекта	1983 г.
7.	Разработка технического и рабочего проектов компонентов экспериментального образца камеры	1982 г.
8.	Изготовление компонентов экспериментального образца камеры.	1982 - 1983 гг.
9.	Сборка и испытание эксперимент. образца корпуса	1982 г.
10.	Методические работы на эксперим. образце камеры	1983 г.
	II. Испытание экспер. образца в пучке синхрофазотрона	1984 г.
12.	Проект эксперимента с ПКПК	1983 г.
13.	Технические задания и аван-проект ПКПК	1983 г.
14.	Технический и рабочий проекты ПКПК	1984 г.
15.	Изготовление и сборка ПКПК	1985 г.
16.	Разработка устройств для обработки голограмм с ПКПК	1984 - 1985 гг.

на создание "Проекта", моделирование и сооружение в 1982-83 гг. рабочего образца
прецизионной криогенной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ

№ п/п	Наименование системы, узла, прибор	Ресурс ЦОЭП тыс.н.час.	Финансирование				Примечание
			тыс. руб.	инстр.	вал.	Т.дол.	
I	2	3	4	5	6		
1.	Изготовление корпуса камеры (из лексана)	1,8	1,0	-	-	1982 г.	
2.	Изготовление кожуха камерн и сифонов(3 шт)	2,6	1,0	-	-	1982 г.	
3.	Изготовление узлов системы расширения, приобретение оборудования. Договорные работы.	4,5	9,0	0,8	-	II квартал 1982 г. IV квартал 1982 г.	
4.	Изготовление газового пульта камеры и пульта системы расширения.	1,8	1,6	-	-	III квартал 1982 г. IV квартал 1982 г.	
5.	Изготовление электронного пульта камеры, систем сигнализации, защит и бломировок. Договорные работы.	2,7	12,0	3,7	-	IV квартал 1982 г. IV квартал 1982 г.	
6.	Изготовление датчиков системы диагностики и управления режимом камер, приобретение датчиков.	0,8	4,5	0,9	-	1982-1983 гг.	
7.	Изготовление стенда для исследования и испытаний систем и узлов камерн.	0,9	3,1	-	-		
8.	Оптические системы (фотокамера, лентопрос- тяжный механизм, импульсный осветитель, электронные схемы управления)	7,6	50,0	-	-		
Итого:		22,7	74,1	5,4			

9. Непредвиденные расходы 20% согласно нормам		4,54	14,82	1,08	
	Всего:	27,24	88,92	6,48	

10. Зарплата сотрудников с начислениями и накладными расходами суммарно

	104,58				
11. Общие затраты	27,24 тыс. н. часов (70,55 т. руб.)	193,50 тыс. руб.	6,48 тыс. долл. (4,40 т. руб.)		

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в Проекте примеры экспериментов, а также известный опыт ведущих зарубежных лабораторий, показывают, что прецизионная пузырьковая камера является оптимальным прибором для исследования короткоживущих частиц и ядер. Предлагаемые эксперименты относятся к наиболее актуальным проблемам физики элементарных частиц и релятивистской ядерной физики. Утверждается, что имеющийся в ЛВЭ ОИЯИ и в других заинтересованных в разработке организациях опыт обеспечивает реальность создания предлагаемой установки. Создание проекта и камеры планируется выполнить в два этапа.

Предусматривается выполнение первого этапа разработки прецизионной пузырьковой камеры - создание её рабочего образца в 1983 году. Начало физических исследований планируется осуществить с помощью рабочего образца камеры. Стоимость этого этапа работы оценивается, примерно, в 160 тыс. рублей.

В результате выполнения второго этапа работы (1985г.) будет создана криогенная быстроциклирующая (30-60 герц) камера с голографическим съёмом информации и с магнитным полем до 5-ти тесла. Стоимость второго этапа работы будет определена в процессе подготовки проекта эксперимента с использованием камеры.

Одновременно с созданием камеры будут сформулированы проекты экспериментов на ускорителях ИФВЭ (Протвино) и ЛВЭ ОИЯИ. Физические исследования предусматривают преимущественное использование прецизионной быстроциклирующей камеры в составе высокоэффективного спектрометра, например, типа БИС-2.

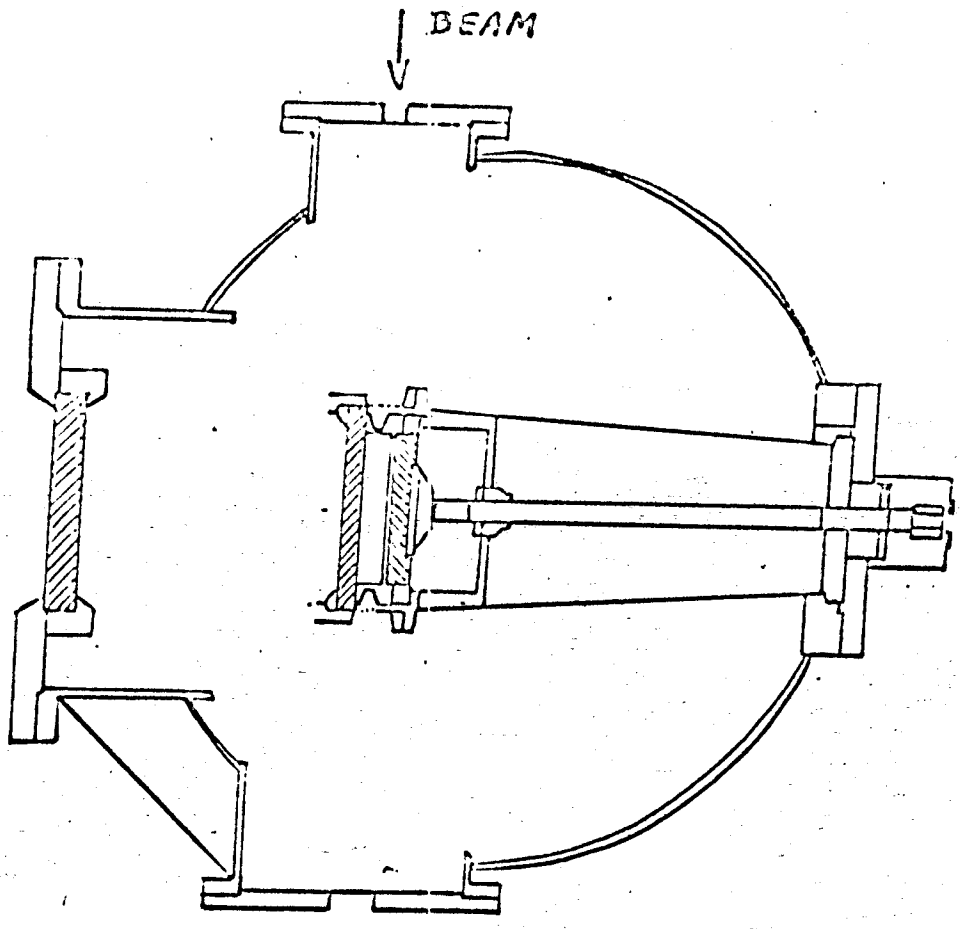
Вместе с тем, не исключается проведение исследований с помощью камеры в сверхпроводящем магните на лучках синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ - как автономного прибора.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис. 1. Схемы камер \angle ЕВС и $\text{НО}\angle$ ЕВС.
- Рис. 2. Треки частиц в камере \angle ЕВС.
- Рис. 3. Схема камеры ВІВС и фрагмент трека в этой камере.
- Рис. 4. Проект прецизионной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ.
- Рис. 5. Кривая расширения и калибровка камеры \angle ЕВС.
- Рис. 6, 7. Возможные варианты классических оптических систем прецизионной камеры.
- Рис. 8, 9, 10. Возможные варианты тенеграфических оптических систем прецизионной камеры.
- Рис. 11. Схема голографирования прецизионной камеры.
- Рис. 12. Схема эксперимента по релятивистской ядерной физике с использованием прецизионной пузырьковой камеры на синхротронном фазотроне ЛВЭ ОИЯИ.
- Рис. 13. Схема эксперимента по поиску шармованных частиц с использованием прецизионной пузырьковой камеры и магнитного спектрометра в ИФВЭ.

EBC

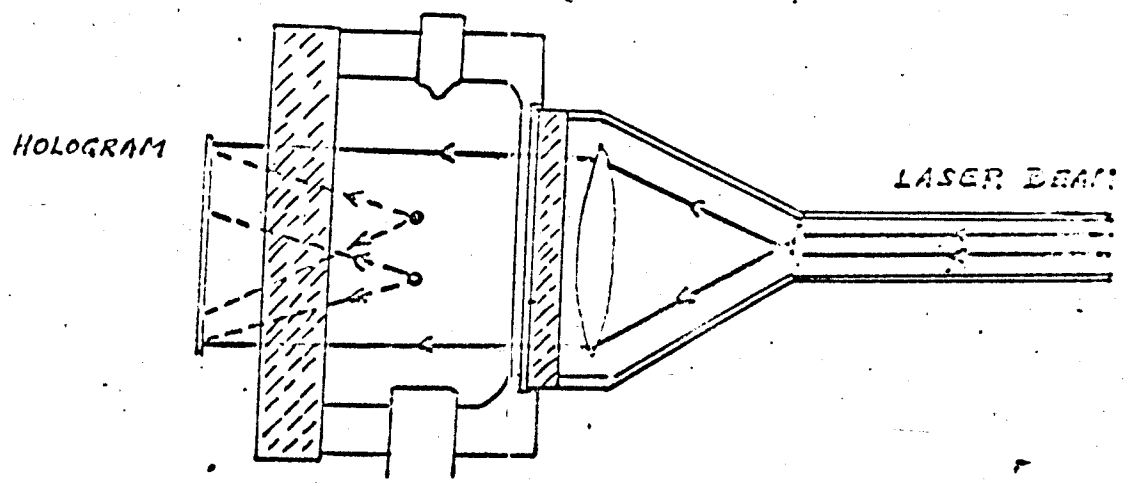
200 mm
35 mm



From: CERN/EP 73-40
27 April 1979

0-LEBC

0 mm



From: CERN
Vezelay 1980, p. 74
C.M. Fisher

PUC. 1

1 cm

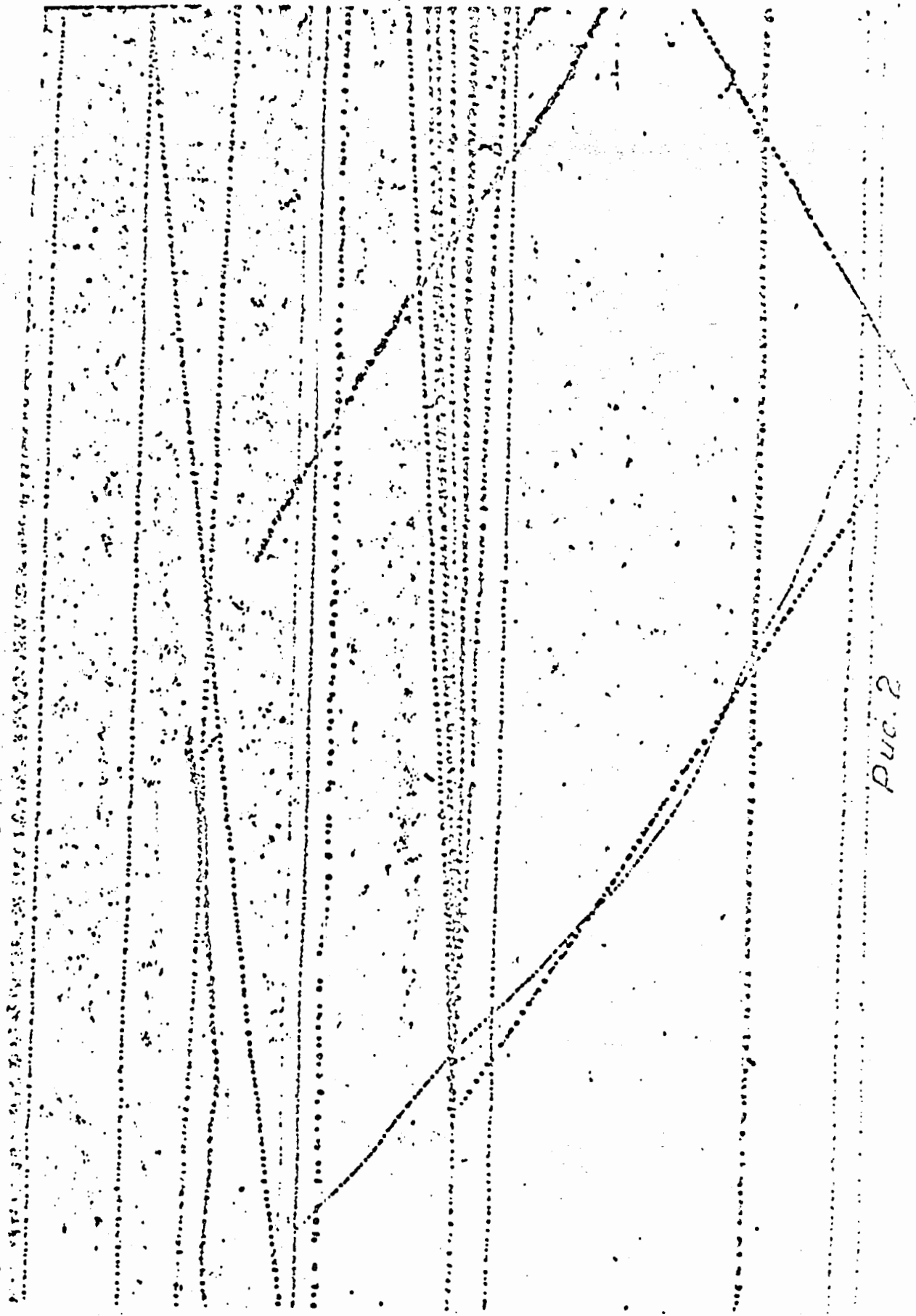
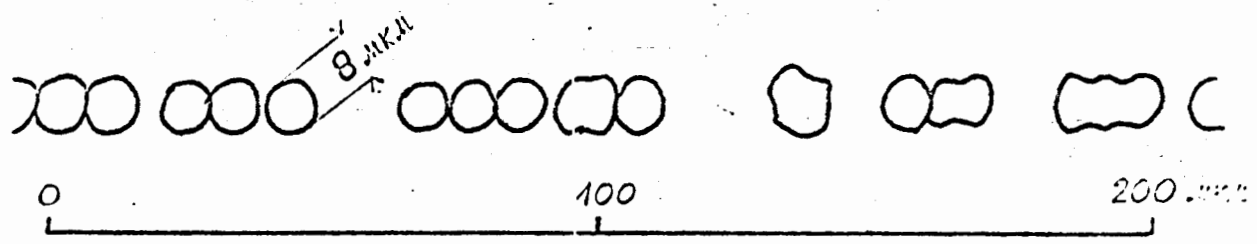
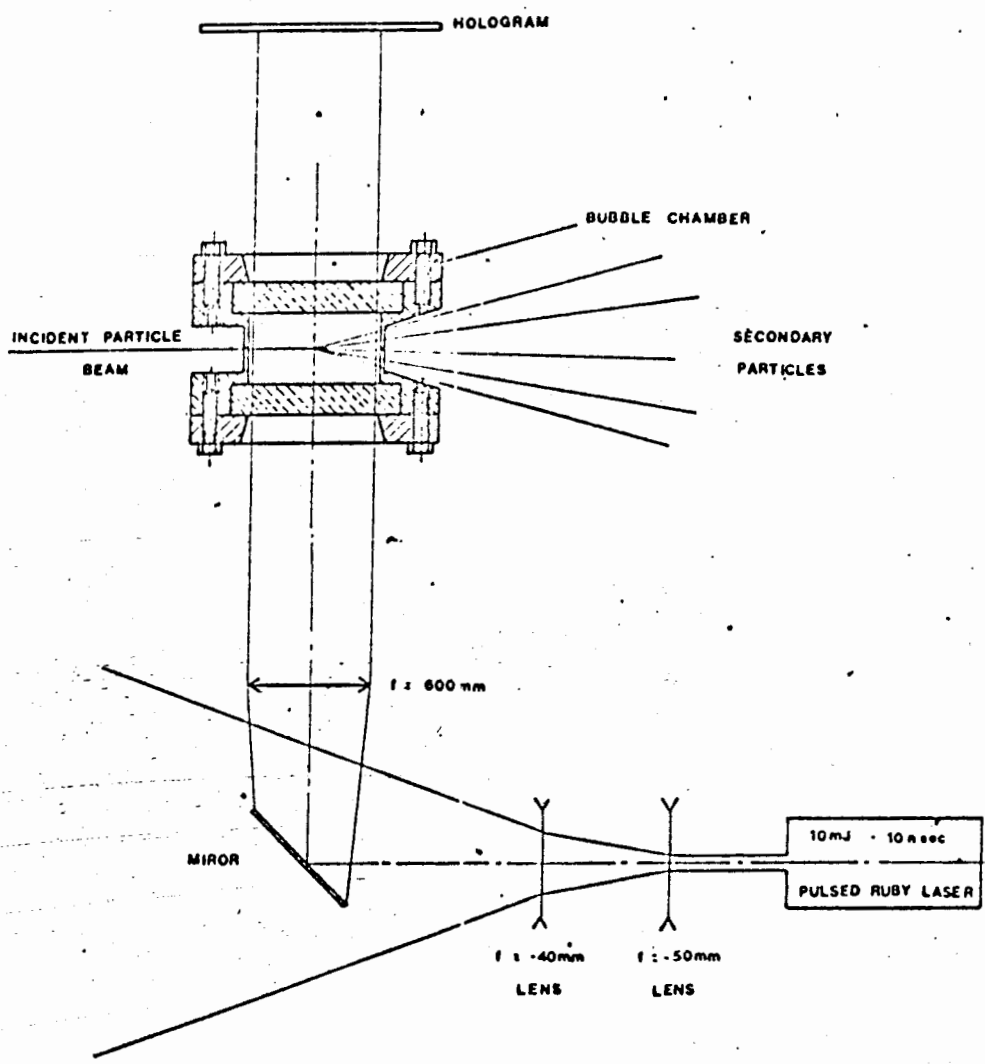


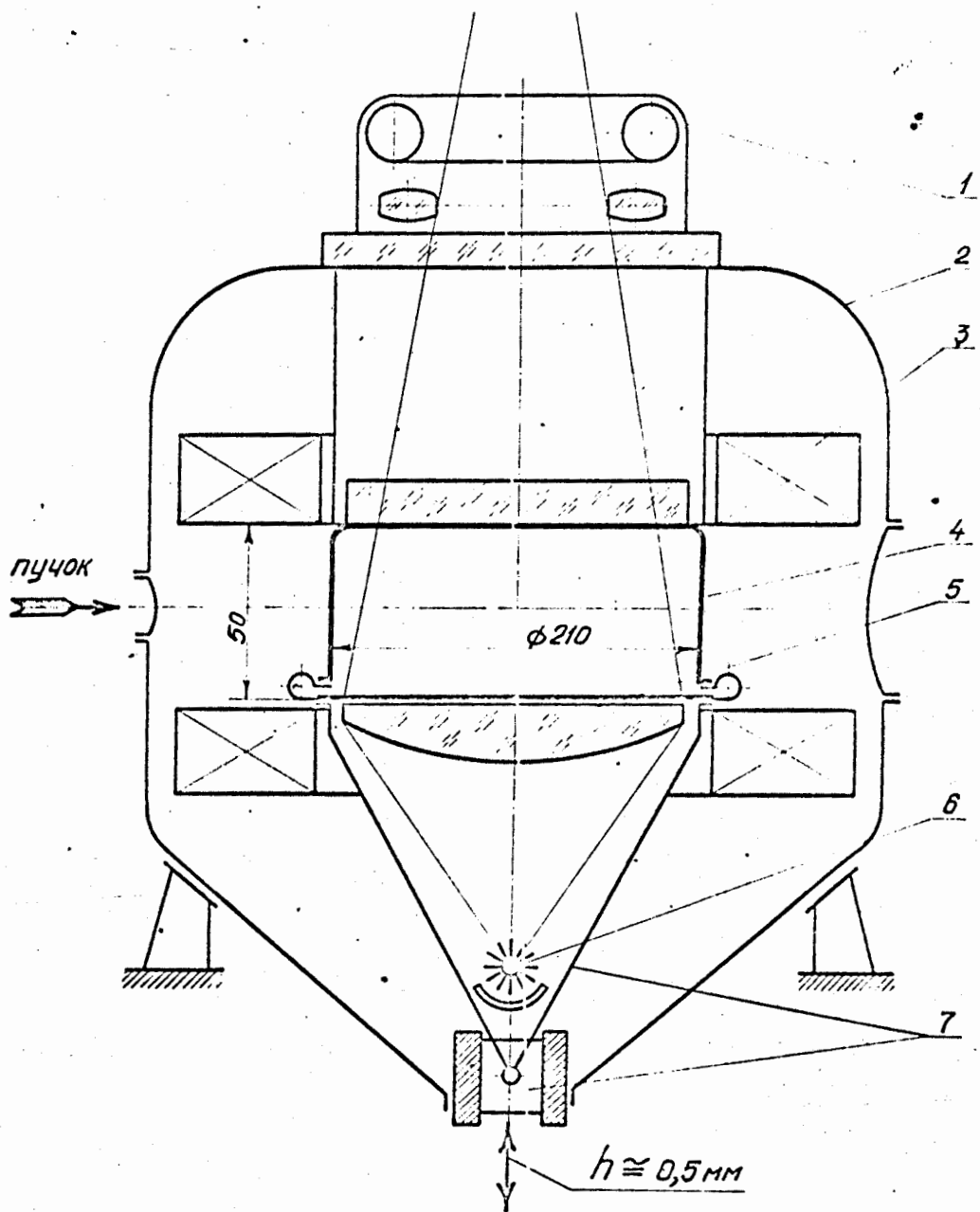
Fig. 2

BIBC

ϕ 65 mm

$h = 35$ mm



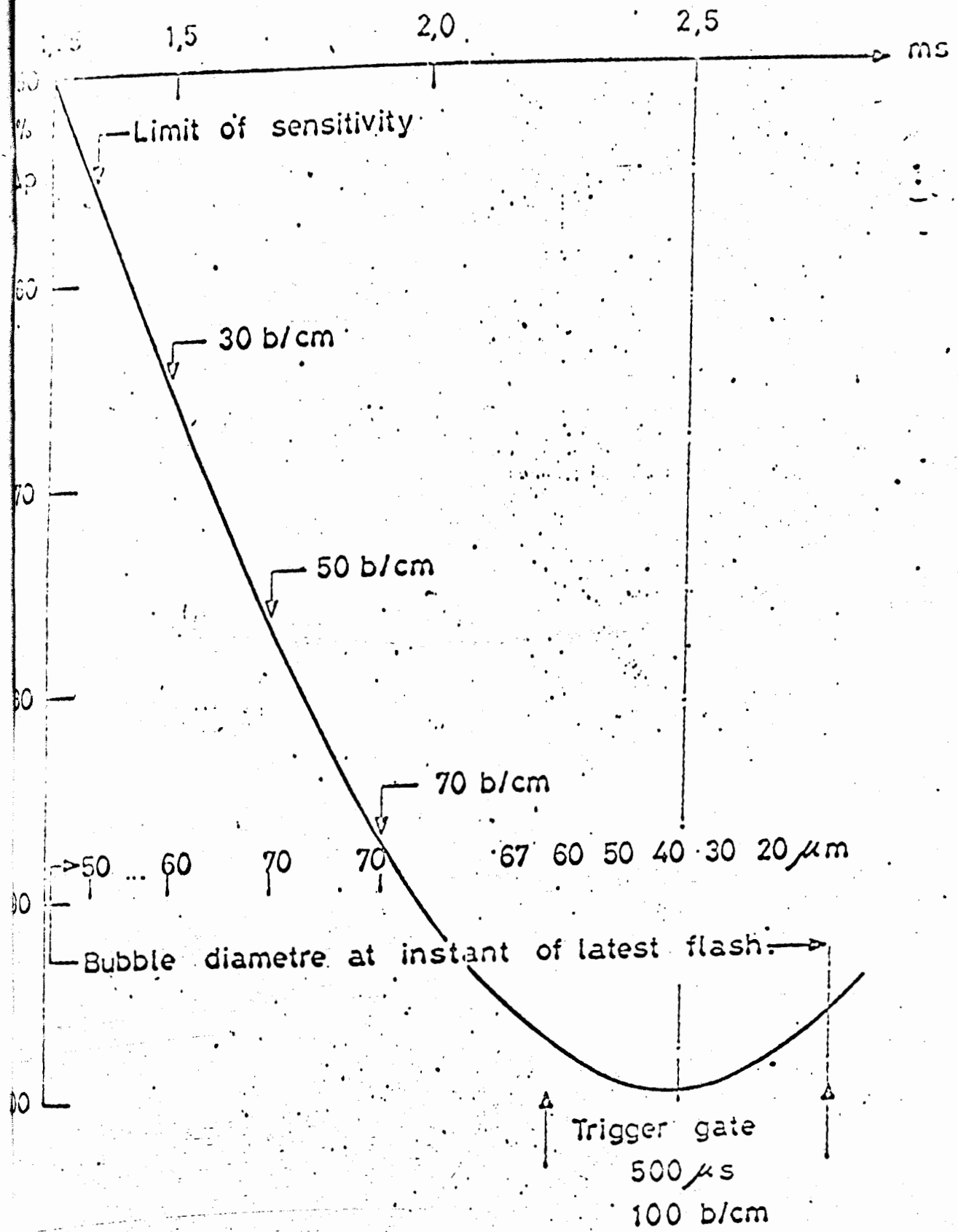


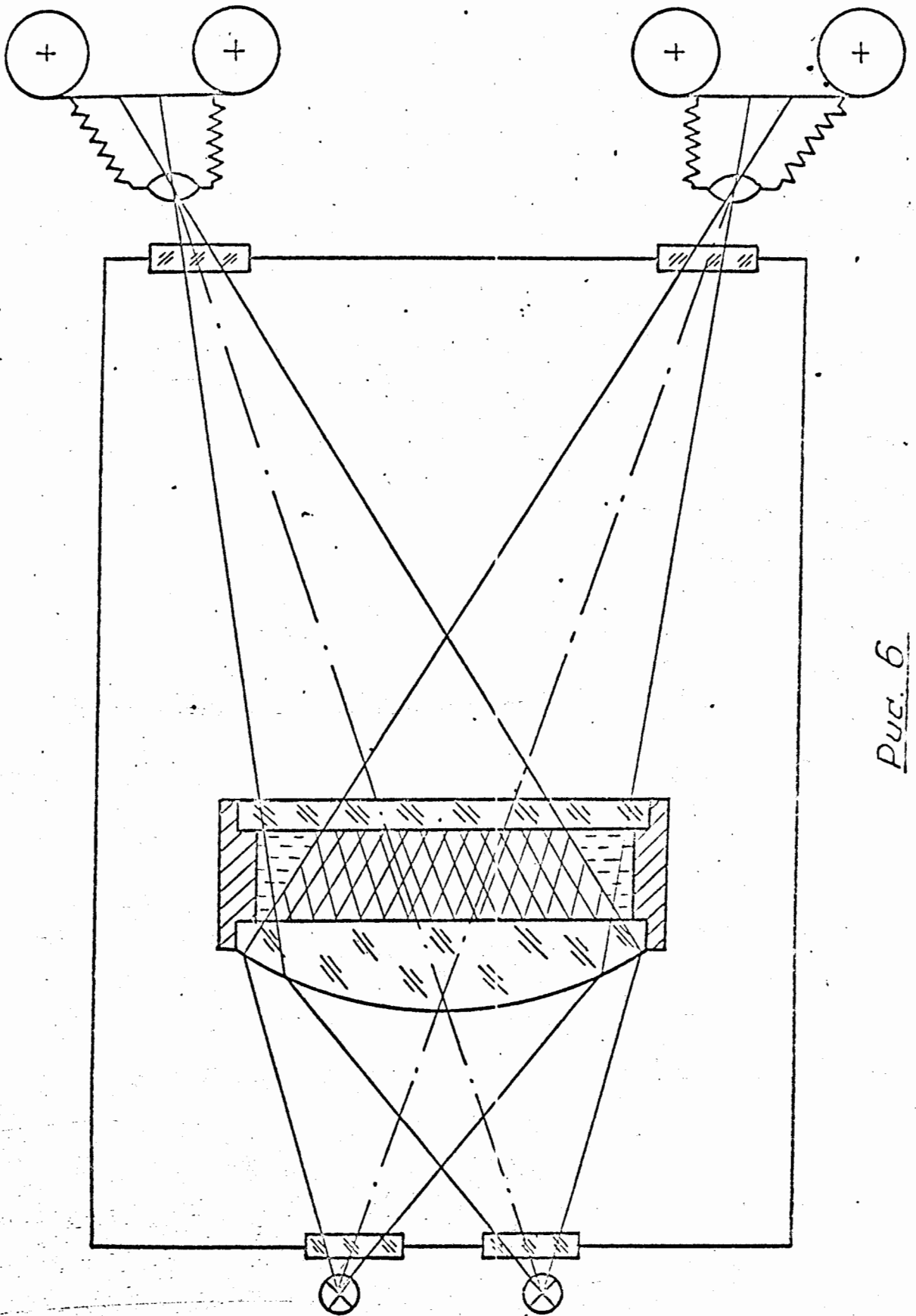
**Прецизионная криогенная
пузырьковая камера
(схема.)**

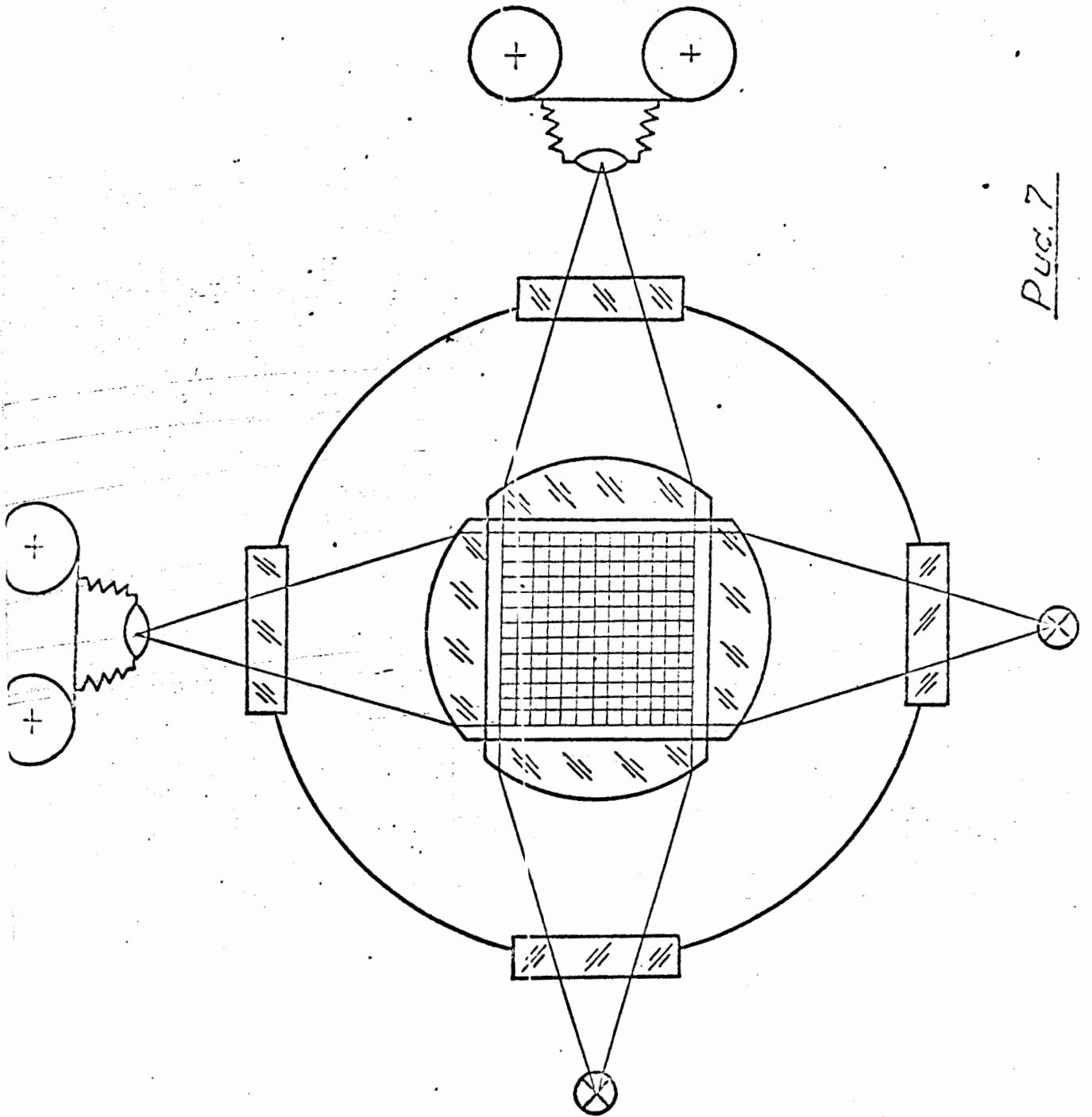
- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1-фоторегистратор | 4-корпус камеры |
| 2-кожух камеры | 5-линза осветителя |
| 3-сверхпроводящий магнит | 6-осветитель |
| | 7-система расширения |

рис. 4

Expansion time : 5ms.







Puc. 7

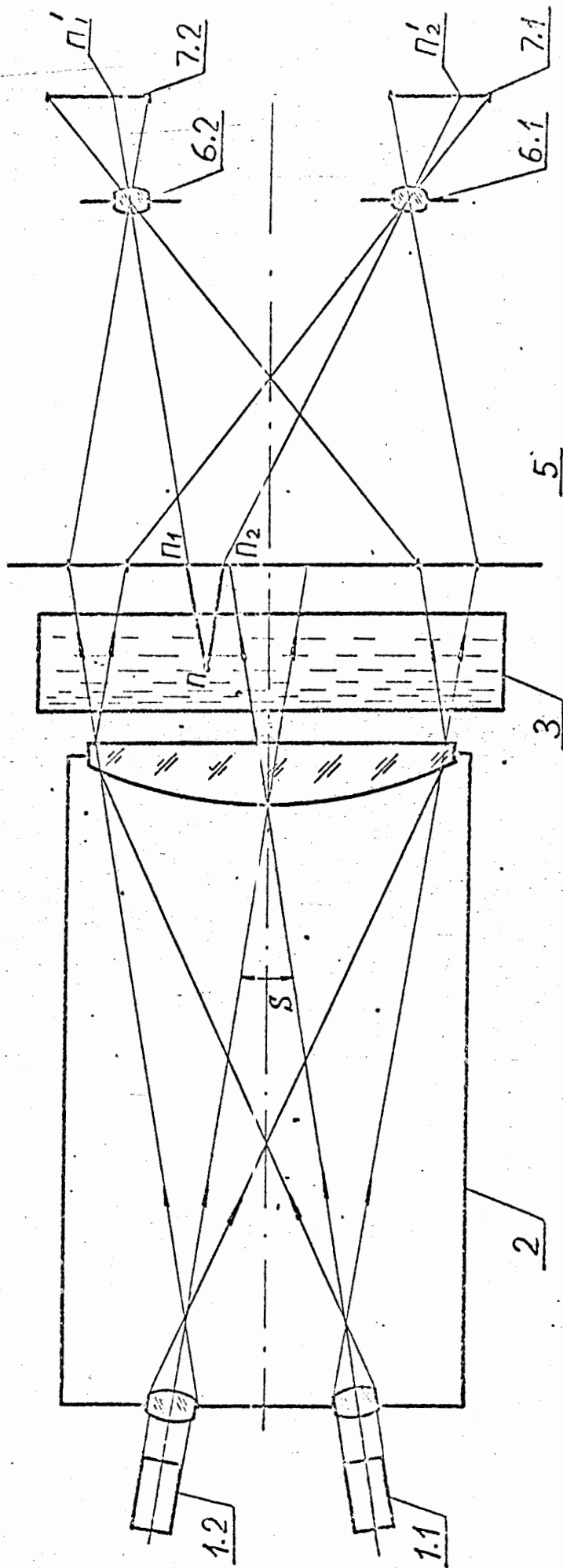


Рис. 8

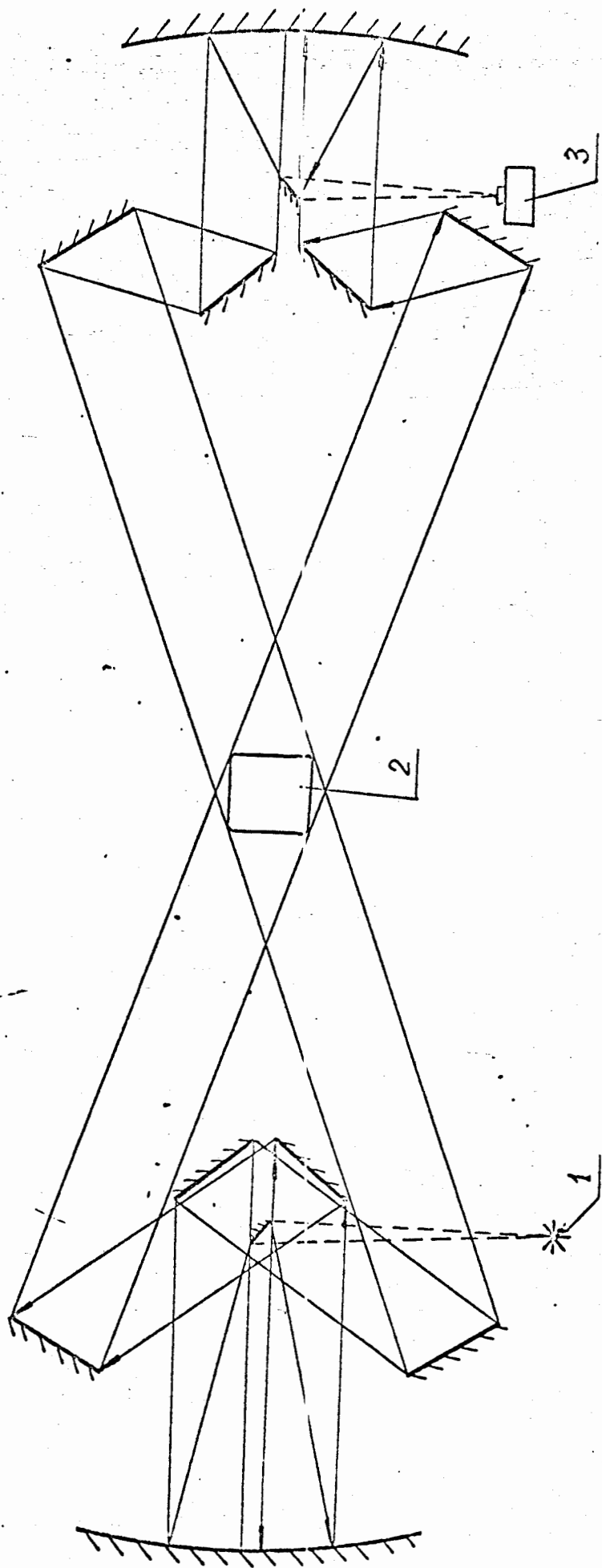


Рис. 9

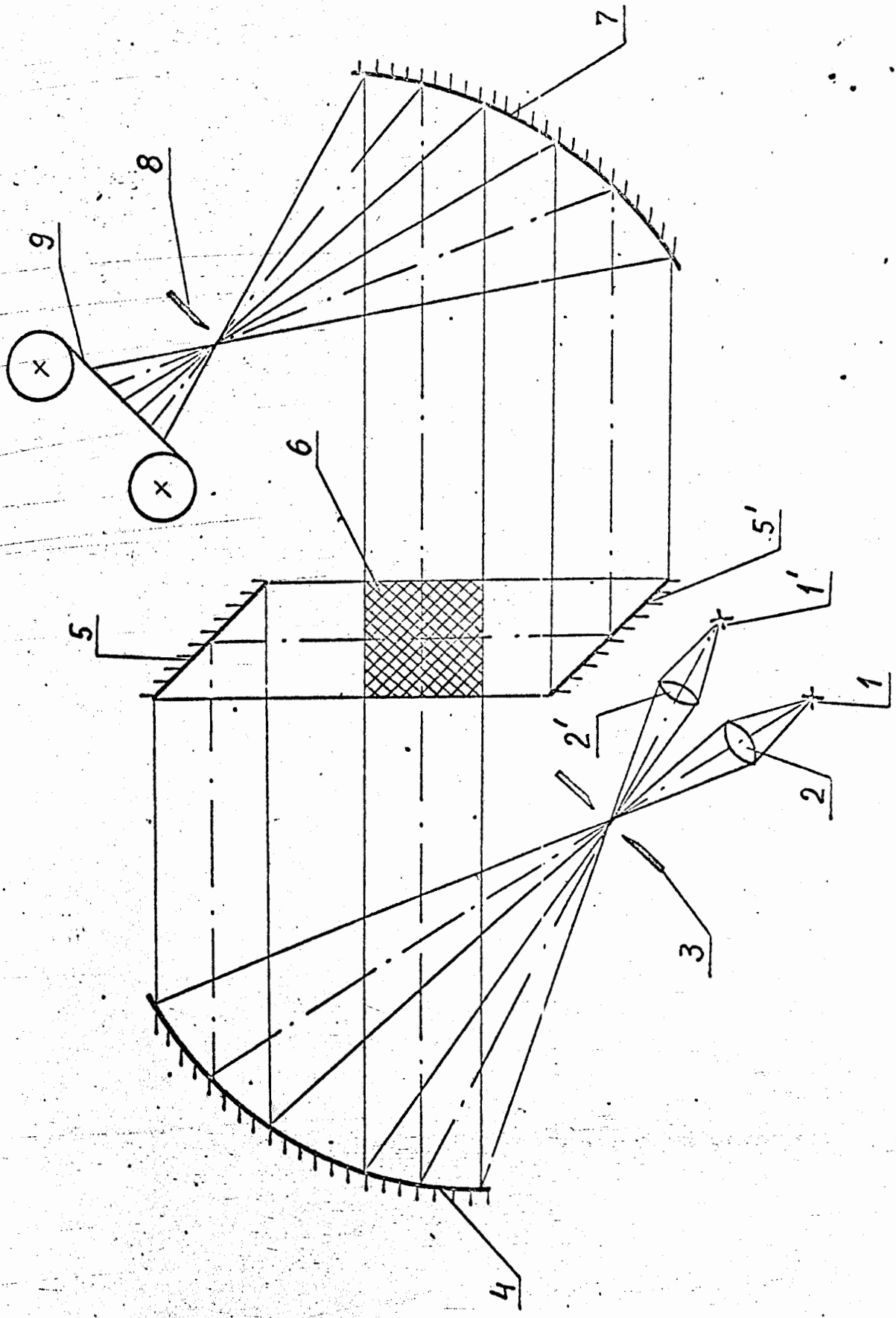


Fig. 10

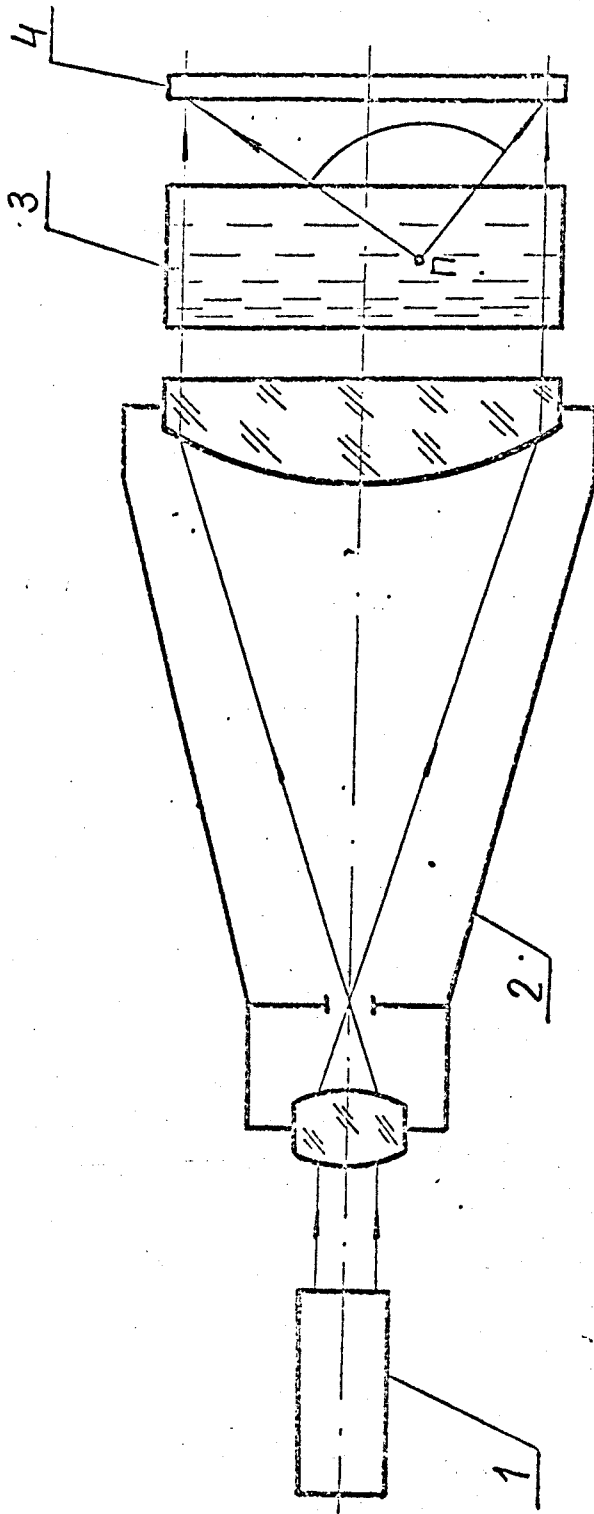


Рис. 11

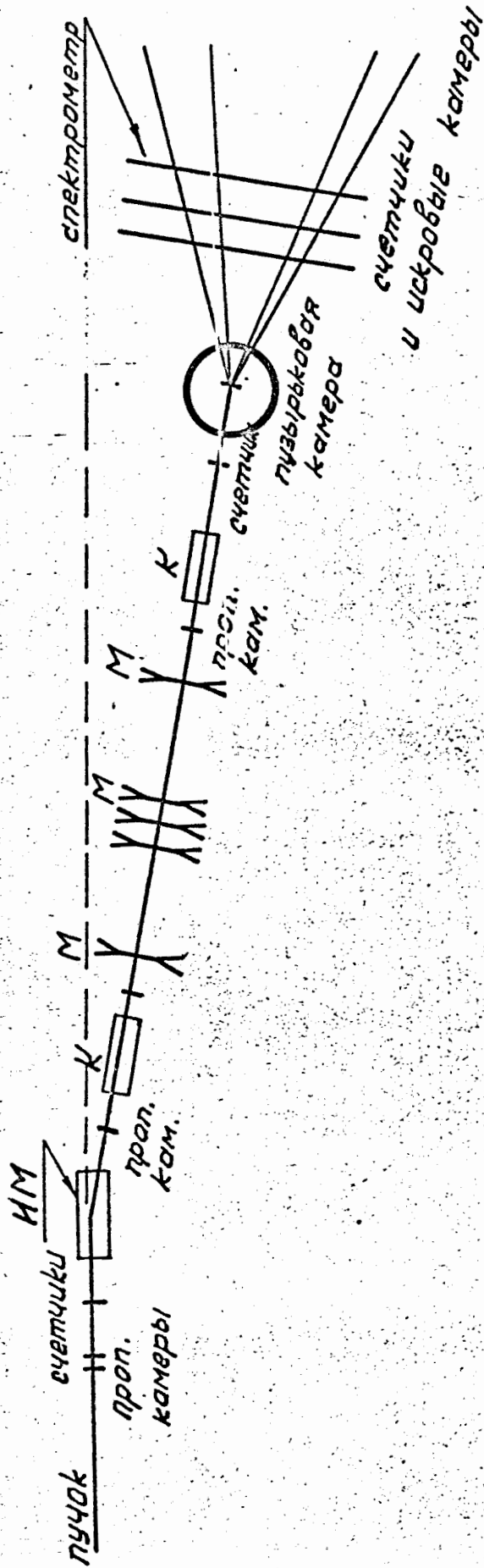


Рис. 12

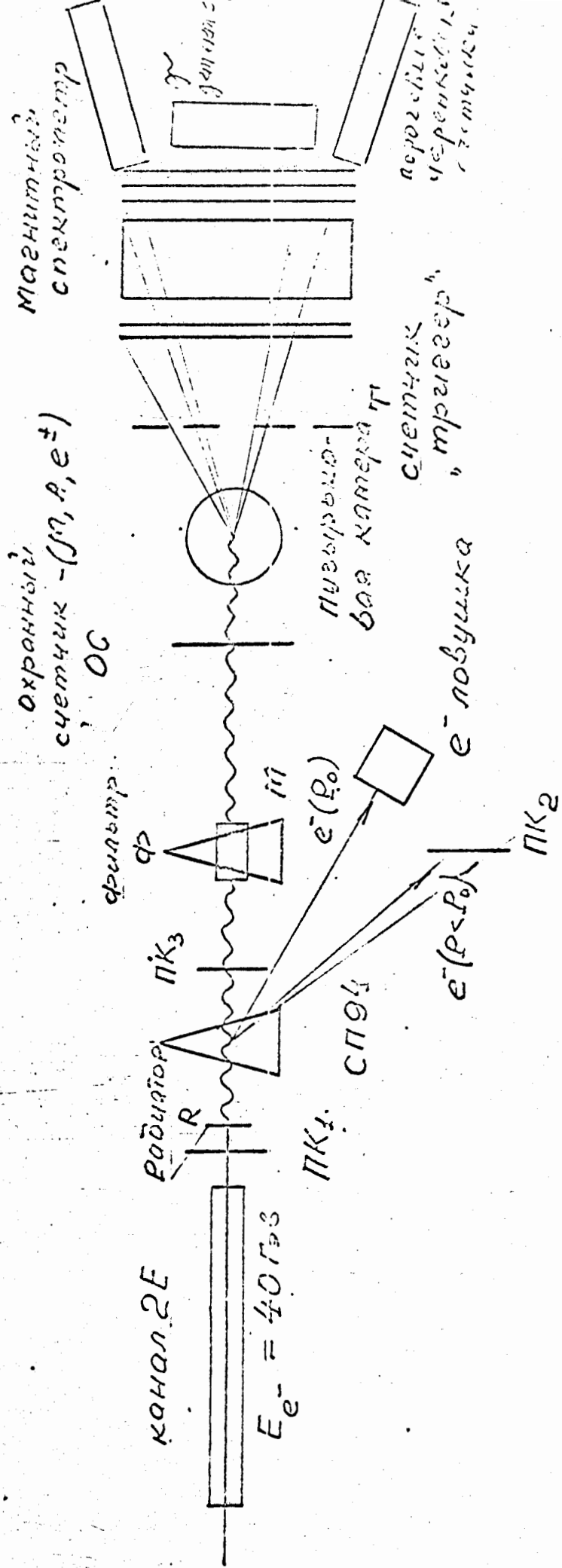


Рис. 13

Техника безопасности

Основными источниками опасности при работе ПКК и сверхпроводящего магнита следует считать:

- а) наличие жидкого водорода в камере в количестве 1,2 литра и
- б) возможности аварийного вскипания охлаждающего гелия в магните (в количестве менее 10 литров жидкости).

Эта последняя опасность устраняется установкой предохранительного клапана на гелиевом сосуде и вакуумном кожухе магнита, через который гелий сбрасывается в ресивер или атмосферу. В аварийной ситуации благодаря этому, криостат будет нагружаться избыточным давлением не более $P_{\text{д}} = 0,7$ ати. Поэтому криостат не является объектом Госгортехнадзора.

Жидкий водород в указанном количестве 1,2 литра, содержащийся в камере, представляет, как известно, среду, образующую с воздухом взрыво- и пожароопасные смеси с нижним пределом концентрации 4,1% к объему воздуха.

ПКК будет расположена в экспериментальном зале корпуса № 205. Полный объем зала: $V_{\text{полн.}} = 135432 \text{ м}^3$. Объем свободного воздуха: $V_{\text{св.}} = V_{\text{полн.}} \cdot 0,85 = 135432 \cdot 0,85 = 115117 \text{ м}^3$. Объем газообразного водорода из 1,2 литров жидкого при нормальных условиях: $V_{\text{H}_2} = 1,2 \cdot 800 = 960 \text{ л} = 0,96 \text{ м}^3$. Концентрация, образуемая смесью водорода с 5% свободного воздуха в помещении:

$$K = \frac{V_{\text{H}_2}}{0,5 \cdot V_{\text{св.}}} = \frac{0,96}{0,5 \cdot 115117} = 0,0002, \text{ что существенно меньше}$$

0,041 - допустимого предела, который задан СНиП - М.2-72.

В соответствии также с СН463-74, "Указаниями по определению категорий производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности", утвержденными Госстроем СССР 01.07.74 г. помещение (производство), в котором планируется размещение установки ПКК, не относится к взрывопожароопасным.