

7615

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



7615

13 - 7615

Б.В.Батюня, Н.М.Вирясов, С.Высочил, Э.В.Козубский,  
М.Малы, В.Т.Толмачев, М.Д.Шафранов

ОПТИКА 2-МЕТРОВОЙ  
ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"

**1973**

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 7615

Б.В.Батюня, Н.М.Вирясов, С.Высочил, Э.В.Козубский,  
М.Малы, В.Т.Толмачев, М.Д.Шафранов

ОПТИКА 2-МЕТРОВОЙ  
ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ "ЛЮДМИЛА"

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

## Введение

Как известно <sup>/1/</sup>, в пузырьковых камерах фотографируются изображения источника света пузырьками, играющими в световом потоке роль отрицательных короткофокусных линз. В зависимости от соотношения энергии световых потоков /рассеянных пузырьками - линзами и фонового/, попадающих на фотопленку через объектив, конструкции систем освещения и фотографирования пузырьковых камер делятся на темнопольные и светлопольные.

При фотографировании пузырька способом темного поля в зрачок объектива и, следовательно, на пленку попадает только свет, рассеянный пузырьком.

При светлопольном фотографировании весь свет от источника попадает в объектив и засвечивает пленку. Изображение пузырька получается за счет рассеивания последней части светового потока и образования вследствие этого тени на пленке.

Для этого способа фотографирования требуется коллимированный световой поток.

Водородные камеры по способу взаимного расположения осветителя и фотообъективов подразделяются на две группы: камеры с освещением "на просвет" и камеры с автоколлимационной системой освещения. В обоих случаях камера конструируется так, чтобы направления световых потоков, падающих на пузырек и рассеянных во входные зрачки объективов, составляли угол  $5-15^\circ$ . Это связано с малым показателем преломления водорода  $n = 1,092-1,110$  и определяемой этим углом индикатрисы рассеяния света паровым пузырьком. Максимальная интенсивность совпадает по направлению с падающим потоком света.

На установке "Людмила" применен темнопольный вариант освещения.

## Растровая автоколлимационная система освещения камеры "Людмила"

При использовании системы зеркал для освещения камеры обязательно присутствует отражение фотографируемого объекта. Для устранения /точнее, ослабления/ мнимых зеркальных изображений в зеркалах был разработан специальный "полосатый" растр /2/, принцип работы которого аналогичен принципу системы "жалюзи" /1/.

Зеркала размещены на опорах /ложементах/, полностью закрывающих дно камеры, фронтальная поверхность растрового элемента покрыта черными непрозрачными полосами /3/ ширины  $K$  /рис. 3/. Интервалы между этими полосами /прозрачные полосы/ также имеют ширину  $K$ . На тыльную поверхность растра нанесен отражающий слой. Ширина полос  $K$  подобрана согласно условию

$$K = \frac{dB}{nR}, \quad /1/$$

где:  $d$  - толщина растрового элемента,  $n$  - показатель преломления стекла растрового элемента,  $B$  - база стереосъемки /расстояние между стереообъективами/,  $R$  - радиус кривизны фронтальной поверхности растрового элемента.

Объективы стереофотокамер расположены симметрично относительно центра кривизны растра. В этом случае при достаточно малой величине отношения  $B/R$  каждый из объективов расположен приблизительно в месте изображения другого объектива. При выполнении этого условия, а также условия /1/ оказывается, что прямой луч от источника, рассеянный пузырьком, поглощается, так как попадает на черную полосу либо в прямом ходе, либо после отражения от тыльной поверхности растра /в обратном ходе/. Испытание "полосатого" растра /4/ показало, что если полосы растра ориентированы под углом  $\alpha$  по отношению к линии базиса стереофото съемки, то условие устранения изображений примет вид

$$K = \frac{dB}{nR} \cdot \cos \alpha, \quad /2/$$

где  $\alpha$  - угол между направлениями полос и линий базиса стереосъемки.

Это дает возможность путем выбора угла наклона полос растра относительно оси камеры найти их оптимальное положение для устранения мнимых изображений.

Основным требованием, обеспечивающим оптимальные условия для работы растра, является равенство по всему полю фотографирования угла между направлениями лучей, рассеянных пузырьками и отраженных от зеркала растра в объективы. В реальной обстановке это требование нарушается наличием преломляющих сред на пути светового потока от осветителя к объективу, что приводит фактически к зависимости ширины полосы от места расположения пузырька в поле фотографирования.

При расчетах ширины полос растра предполагалось, что каждый объектив расположен в месте изображения другого и угол между прямым и обратным лучами одинаков по всему полю фотографирования. Названное предположение достаточно грубое, поэтому в реальных условиях зеркальные мнимые изображения треков частиц не устраняются полностью, а ослабляются в 5-6 раз. Это уже обеспечивает нормальную обработку снимков как ручным, так и автоматическим способом.

Черные полосы занимают половину площади растра, поэтому падающий на растр световой поток наполовину гасится. Если бы источник света был точечным, то отраженный световой поток имел бы полосатую структуру. Однако реальный широкий источник света сглаживает эту "полосатость", вследствие чего неоднородность освещения объема камеры с "полосатым" растром существенна только вблизи растра /на расстоянии до 1 см/.

### Освещение камеры

Для освещения камеры "Людмила" разработан и изготовлен ЛИТМО - импульсный осветитель /рис. 4/ с тремя лампами ИФК-50. Каждая лампа освещает 1/3 камеры. Для достижения равномерности освещения и обес-

печения плавности переходов между освещаемыми участками в ФИ ЧСАН разработан и изготовлен широкоугольный осветитель /10/рис. 5,6/.

Освещение камеры "Людмила" в настоящее время производится пятью импульсными лампами. Широугольный осветитель сконструирован так, что разрядные участки всех пяти импульсных ламп изображаются в главной плоскости осветителя, размещенной в плоскости входных зрачков фотообъективов, в центре базисного прямоугольника.

Питание импульсных ламп обеспечивается от батарей конденсаторов емкостью от 160 до 960 мкф при напряжении 180-220 В.

Выбор схемы освещения камеры был сделан на основе расчета рассеяния света на пузырьке в предположении, что пузырек ведет себя, как короткофокусная линза /1/. В жидком водороде в режиме пузырьковой камеры доля рассеянного света быстро растет с уменьшением угла рассеяния. Отсюда следовал вывод, что нужно выбрать параметры схемы освещения так, чтобы угол между направлениями лучей от пузырька на источник света и на объективы был минимальным и слабо зависел от положения пузырька в объеме камеры. Этому требованию удовлетворяет размещение источника света /или его изображения/ в плоскости входных зрачков объективов, в центре базисного прямоугольника.

В любой автоколлимационной схеме освещения, как и в описываемой системе камеры, свет от источников направляется сквозь стекла-иллюминаторы к отражательным растрам. После отражения от растра он попадает обратно в осветитель /рис. 3/. Таким образом, рабочий объем камеры освещается в двух направлениях: в прямом, до попадания света на растр, и в обратном, после отражения от растра. Таким образом компенсируется потеря света, связанная с наличием темных полос.

Для ослабления нежелательного фона рассеянного на поверхностях стекол света и уменьшения хроматической аберрации объективов используется светофильтр марки КС-10.

### Осветитель постоянного подсвета

Для наблюдения за ходом заполнения камеры водородом, а также для контроля ее состояния в сеансе облучения применяются зрительная труба, которая вставляется в гнездо в базисной плите, и осветитель постоянного подсвета. Оптическая схема зрительной трубы показана на рис. 7.

Осветитель постоянного подсвета /рис. 8/ представляет собой кольцевой объем, внутри которого размещены лампы накаливания с иодистым циклом типа КИМ-12/100. Внутри кольца расположен импульсный осветитель.

### Основное стекло

Главный иллюминатор камеры изготовлен из оптического стекла марки К8 и имеет размеры 2150 x 700 x 151 мм<sup>3</sup>. На его поверхности, граничащей с жидким водородом, нанесены реперные кресты /41 шт./, на противоположной поверхности имеется 10 крестов /рис. 9/, координаты которых измерены с точностью до 20 мк.

### Верхнее стекло камеры

Верхний иллюминатор камеры изготовлен из оптического стекла марки К8 и имеет размеры 762 x 612 x 60 мм<sup>3</sup>. На верхней крышке камеры закреплена рама, в которую помещено стекло. Система юстировки дает возможность выставить верхнее стекло параллельно главному стеклу-иллюминатору. Контроль производится автоколлиматором. Процесс юстировки выполняется во время работы камеры.

### Система фотографирования

Фотографирование камеры "Людмила" осуществляется четырьмя объективами "Руссар-Плазмат" с фокусным

расстоянием 142 мм и углом поля зрения  $2\beta = 60^\circ$  /рис. 10/.

Главные направления фотографирования - оптические оси объективов - между собой параллельны, отстоят друг от друга как вершины квадрата со стороной 460 мм и перпендикулярны поверхностям обоих стекол, т.е. верхнему и камерному стеклу - иллюминатору /рис. 11/.

На базисной плите установлены в одной плоскости четыре фотограмметрические головки с объективами "Руссар-Плазмат". Каждая головка имеет прижимное стекло /выравнивающее/ для пленки, на которое нанесены реперные кресты. Один из крестов размещен на оптической оси объектива /рис. 12/. Кресты подсвечиваются лампами накаливания типа СМ-37. Имеется возможность юстировки базисной плиты /плоскости прижимных стекол/ относительно плоскостей верхнего и камерного стекол. Эта операция выполняется с помощью автоколлиматора после юстировки верхнего стекла.

Фотографирование производится на четыре пленки шириной 50 мм без перфорации. Средний масштаб фотографирования 1/15.

Каждая пленка размещена в пневматическом лентопротяжном механизме /7,8/, который изображен на рис. 13.

В каждом корпусе лентопротяжного механизма /ЛПМ/ смонтирован весь лентопротяжный тракт /т.е. протяжный, подмоточный механизм и система прижима пленки/. ЛПМ устанавливается на базисной плите в рамки с электро- и пневмоконтактами. Каждый ЛПМ закрепляется в рамке с помощью отдельного прижимного устройства /рис. 14/.

Опыт экспозиции показал, что произвести замену одного ЛПМ другим можно за 30 сек.

### *Впечатывание служебной информации*

Служебная информация, впечатываемая на пленку жидководородной пузырьковой камеры "Людмила" /6/, позволяет обрабатывать снимки полуавтоматическим и автоматическим способами. Для этого используется информация, выведенная на два кода /рис. 16/: десятичный

и двоично-десятичный. Эта информация, выведенная на табло /рис. 17/, включает в себя: номера кадра и пленки, две марки Бреннера /для остановки кадра при автоматической обработке/ и два реперных креста, дающих начало отсчета при автоматической обработке. Конструктивно система впечатывания информации выполнена следующим образом: каждая стереофотограмметрическая головка имеет еще дополнительный объектив с  $f' = 150$  мм и двумя зеркалами для занесения информации на пленку. Зеркала размещены внутри головки.

Служебная информация впечатывается на пленку со стороны эмульсии.

Для одновременного переноса изображения с одного светящегося щита-табло со служебной информацией на четыре пленки была разработана система перископов с дополнительными объективами, обеспечивающая масштаб изображения 1/10 /рис. 15/.

Электронная стойка управления табло и непосредственная конструкция самого табло дают возможность заносить на пленку всю необходимую служебную информацию, которая разделяется на постоянную и переменную.

Постоянной информацией является:

номер пленки - 3 знака,  
температура в камере - 3 знака,  
давление в камере - 3 знака,  
число, месяц, год - по 2 знака.

Переменная информация - номер кадра.

Перечисленные данные можно нанести на пленку вручную со стойки /рис. 16/ управления.

Подсвет табло осуществляется автоматически с помощью импульса, поступающего на запуск импульсных ламп осветителя. Для подбора экспозиции фотографирования используется реле времени, обеспечивающее нужную продолжительность высвечивания лампочек табло.

Перечисленные выше знаки постоянной информации в процессе тестовых съемок можно применять и для занесения любых дополнительных данных, таких как ход штока механизма расширения, задержка света, давление в камере, режим канала пучка и т.д.

В результате проведенных сеансов облучения 2-мет-

ровой водородной камеры ОИЯИ "Людмила" в протонных и антипротонных пучках серпуховского ускорителя было получено большое количество рабочих снимков. Один из этих снимков с первичным протонным пучком показан на рис. 18.

Авторы выражают глубокую благодарность Чехословацкой Академии наук, особенно академику Я.Кожешнику за предоставленную возможность изготовления импульсного осветителя и перископов в Физическом институте АН ЧССР.

Авторам приятно поблагодарить профессора М.М.Русинова, Э.М.Лившица за полезные обсуждения вопросов оптики пузырьковых камер, руководство разработкой и изготовлением объективов стерефотокамер для установки "Людмила".

За поддержку в осуществлении этого проекта мы глубоко признательны директору ЛВЭ ОИЯИ профессору А.М.Балдину и главному инженеру ЛВЭ Н.И.Павлову.

Одновременно авторы выражают благодарность коллективам мастерских ЛВЭ, ЦЭМа, сотрудникам ОВК и СНЭО за участие в изготовлении деталей и узлов оптических систем установки, а также И.М.Граменицкому за полезные советы при обсуждении работы.

#### Литература

1. Ю.А.Александров и др. Пузырьковые камеры, Госатомиздат, Москва, 1963.
2. Э.В.Козубский, М.Малы. Авторское свидетельство №160604, Бюллетень изобретений, №24, 1962.
3. Н.М.Вирясов, С.Высочил, В.Т.Толмачев. ОИЯИ, Б2-13-6169, 1971.
4. П.М.Афонин и др. ОИЯИ, Б3-13-5258, Дубна, 1970.
5. Н.Ф.Буланов и др. Сообщение ОИЯИ, 13-7254, Дубна, 1973.
6. Н.М.Вирясов, С.Высочил. Сообщение ОИЯИ, 13-7253, Дубна, 1973.

7. Н.В.Богомолов, С.Высочил. ОИЯИ, Б3-13-7255, Дубна, 1973.
8. С.Ф.Беляков и др. Препринт ОИЯИ, Р13-4474, Дубна, 1969.
9. Н.М.Вирясов и др. ОИЯИ, Б2-13-6168, Дубна, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 декабря 1973 года.

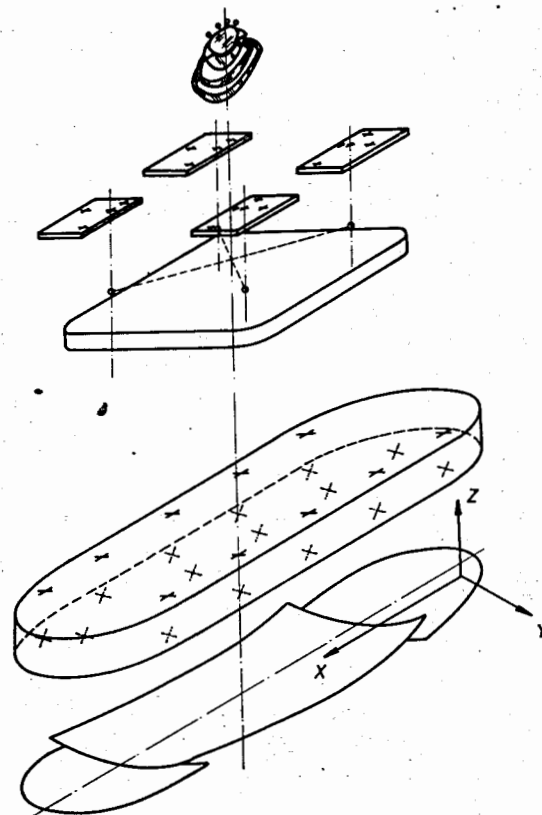
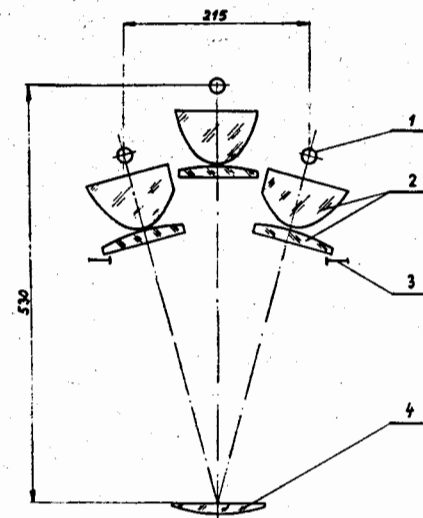
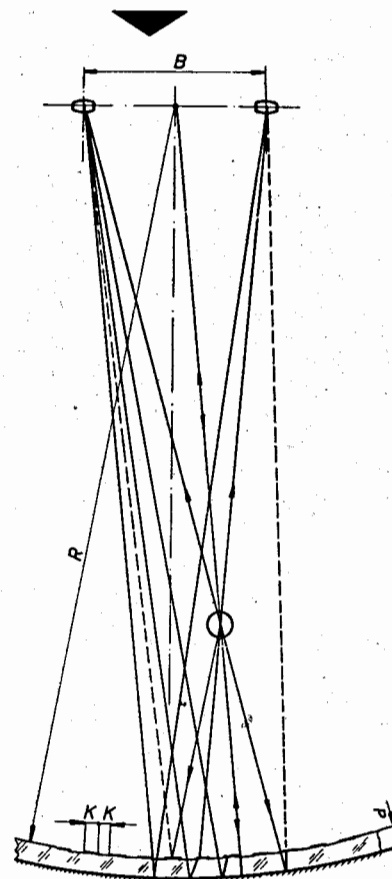


Рис. 1. Оптическая схема камеры "Людмила" ЛВЭ ОИЯИ.

Рис. 3. Схема действия "полосатого" отражающего раstra.



- 1 ИМПУЛЬСНАЯ ЛАМПА
- 2 КОНДЕНСОР
- 3 ПОЛЕВАЯ ДИАФРАГМА
- 4 КОЛЛЕКТИВ

Рис. 4. Оптическая схема импульсного осветителя ЛИТМО.

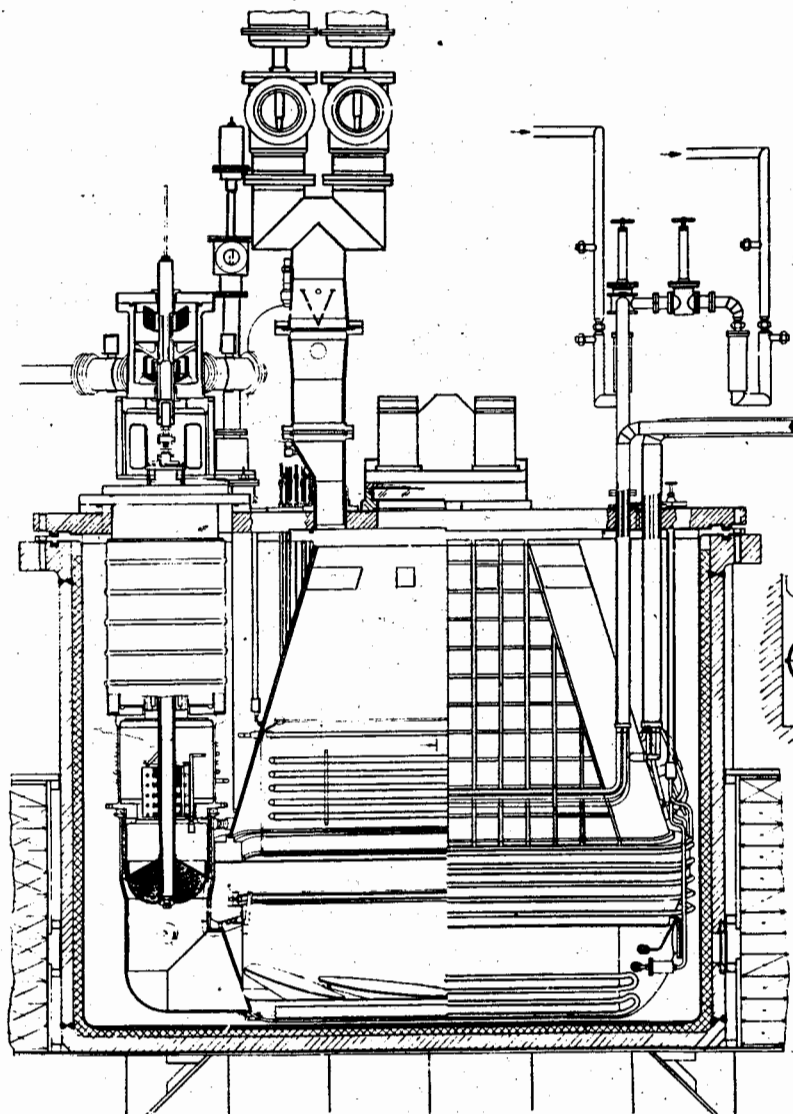


Рис. 2. Общий вид камеры "Людмила".



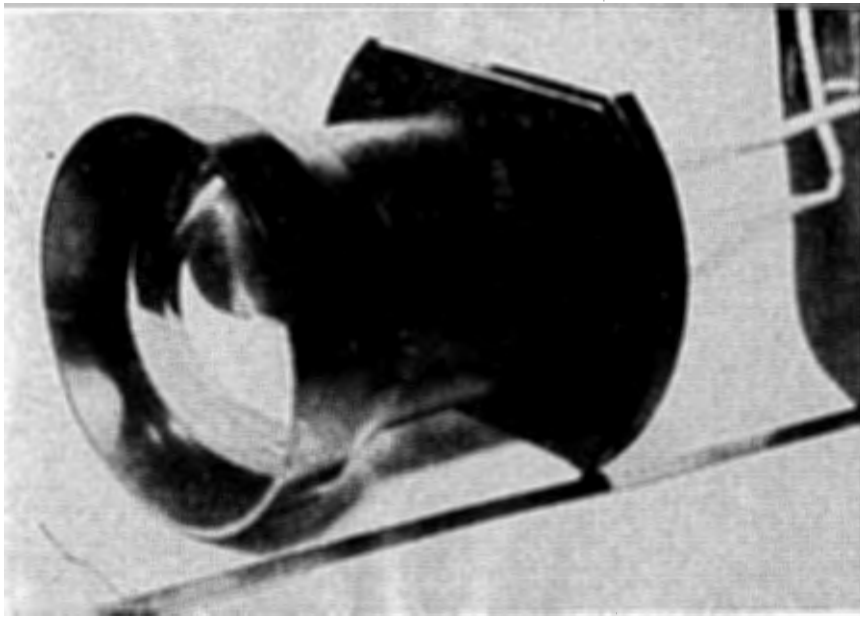


Рис. 5. Широкоугольный импульсный осветитель ФИ ЧСАН.

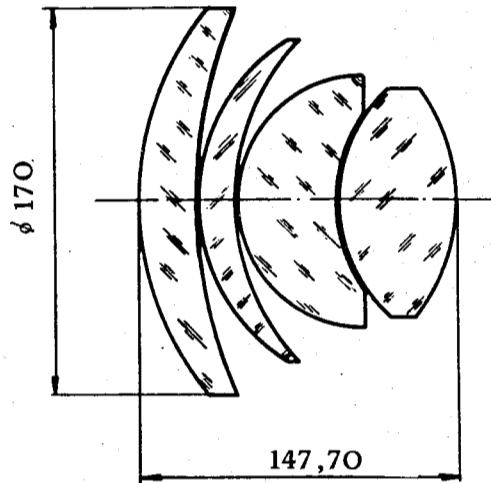


Рис. 6. Оптическая схема импульсного осветителя ФИ АН ЧССР.

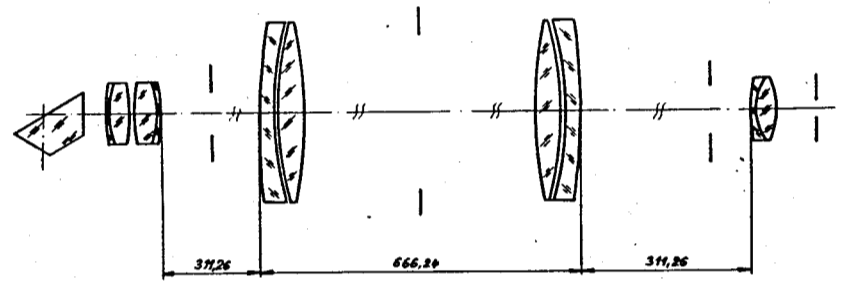


Рис. 7. Оптическая схема зрительной трубы.

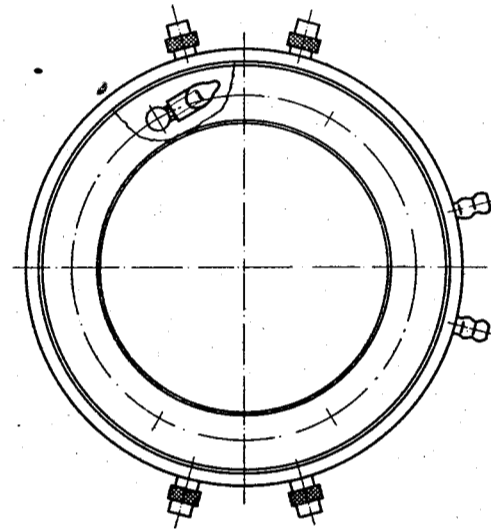
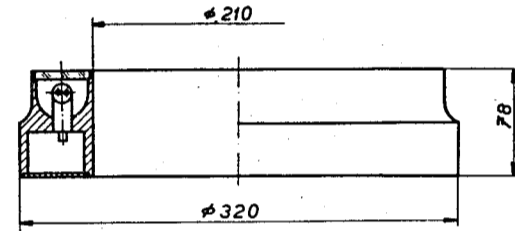


Рис. 8. Осветитель постоянного подсвета.

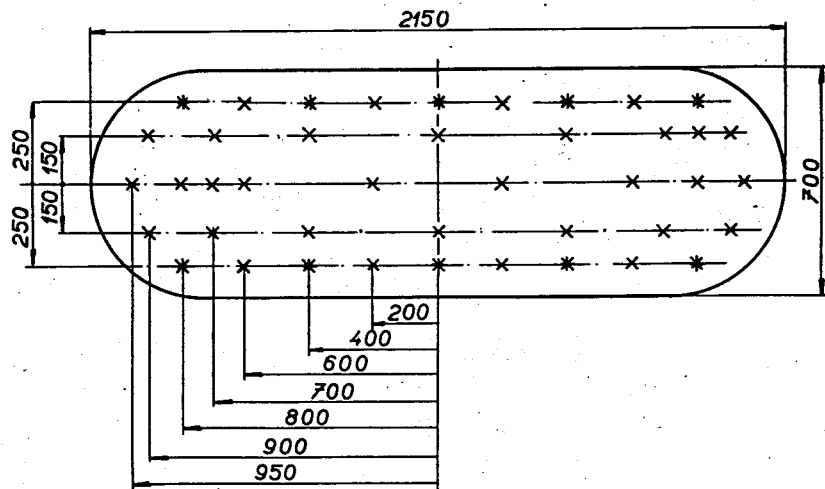


Рис. 9. Схема реперных крестов на стекле-алюминаторе камеры "Людмила".

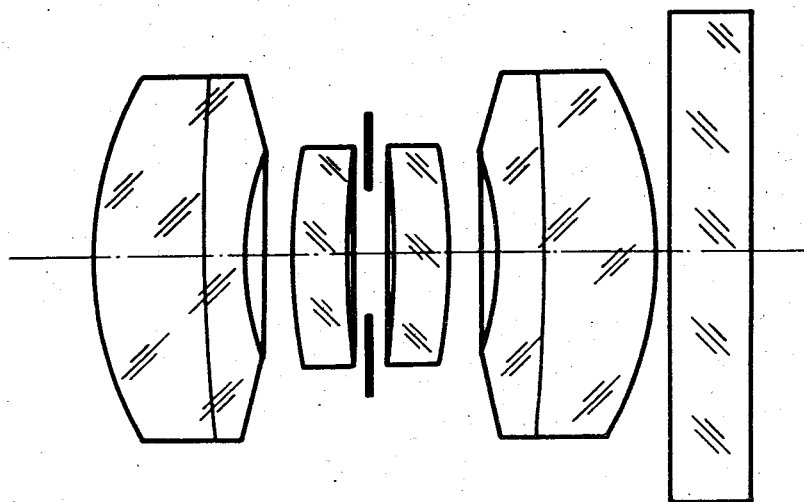


Рис. 10. Схема объектива "Руссар-Плазмат".

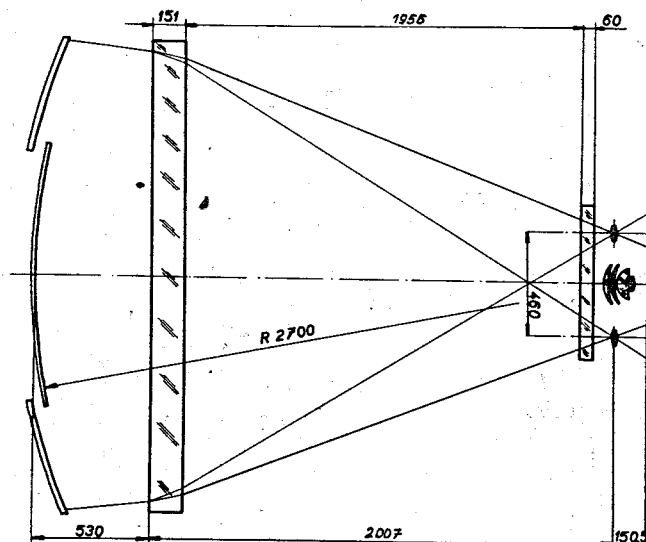


Рис. 11. Оптическая схема камеры "Людмила".

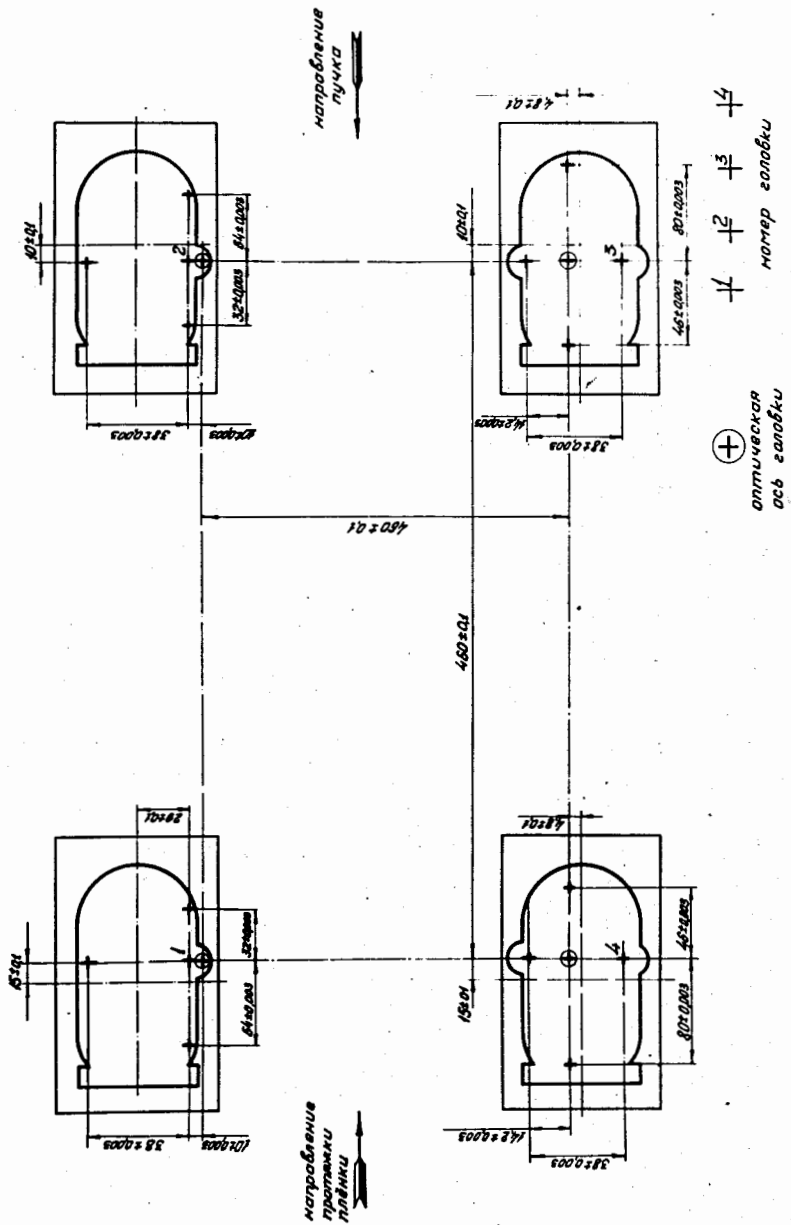


Рис. 12. Реперные кресты прижимных стекол камеры "Людмила".

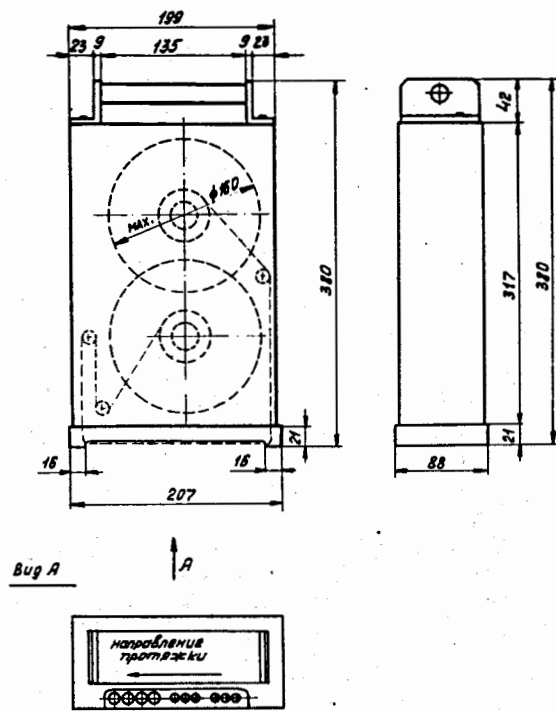


Рис. 13. Лентопротяжный механизм.

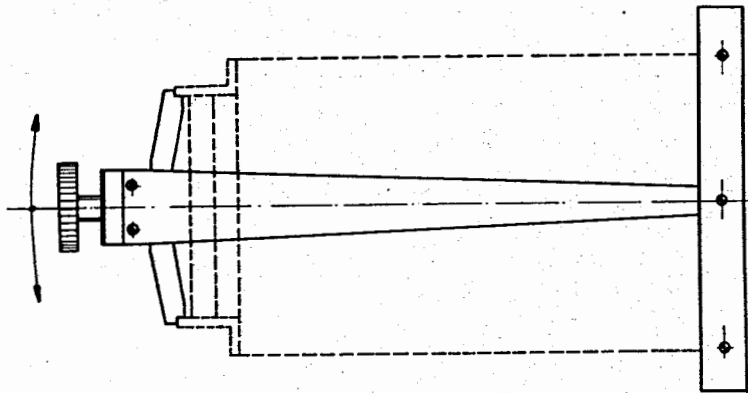


Рис. 14. Схема крепления лентопротяжного механизма.

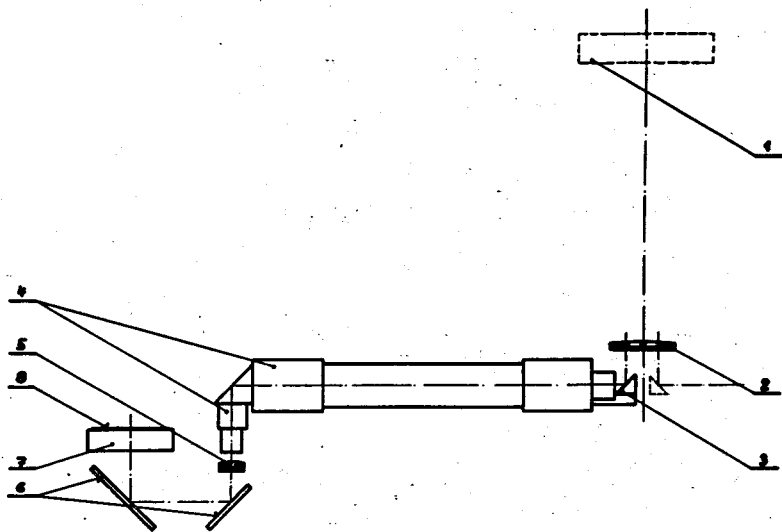


Рис. 15. Схема переноса служебной информации. 1 - табло, 2 - объектив, 3 - призма, 4 - перископ, 5 - объектив, 6 - зеркала, 7 - прижимное стекло, 8 - пленка.

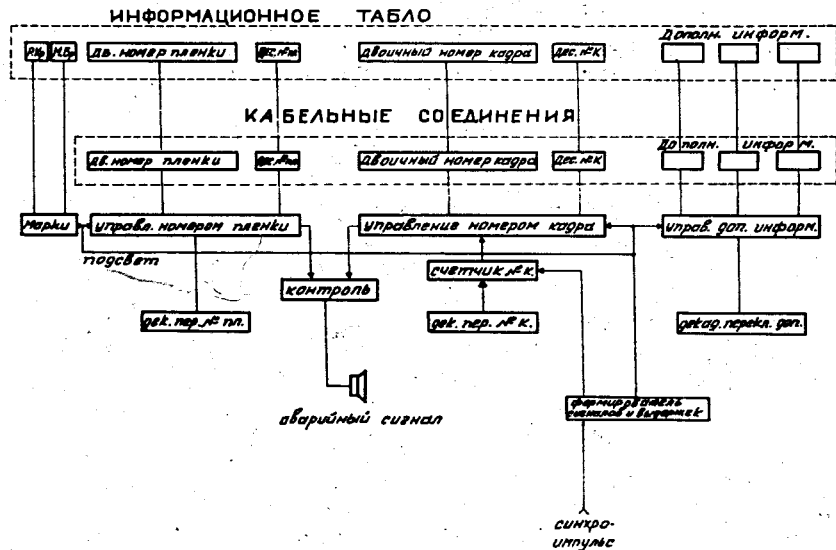


Рис. 16. Блок-схема устройства табло камеры "Людмила".

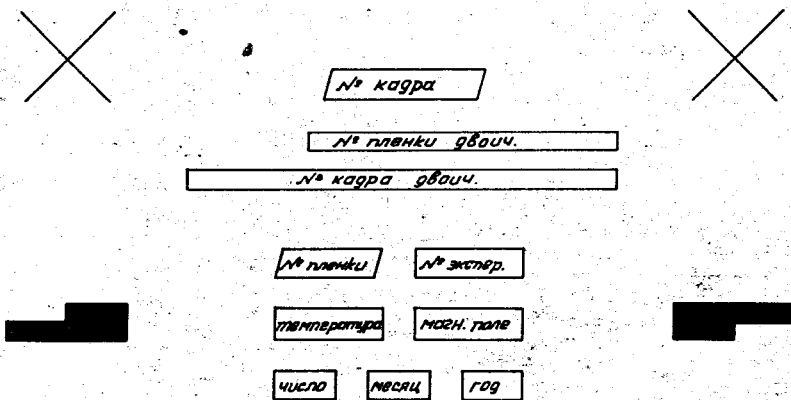


Рис. 17. Информационное табло камеры "Людмила".

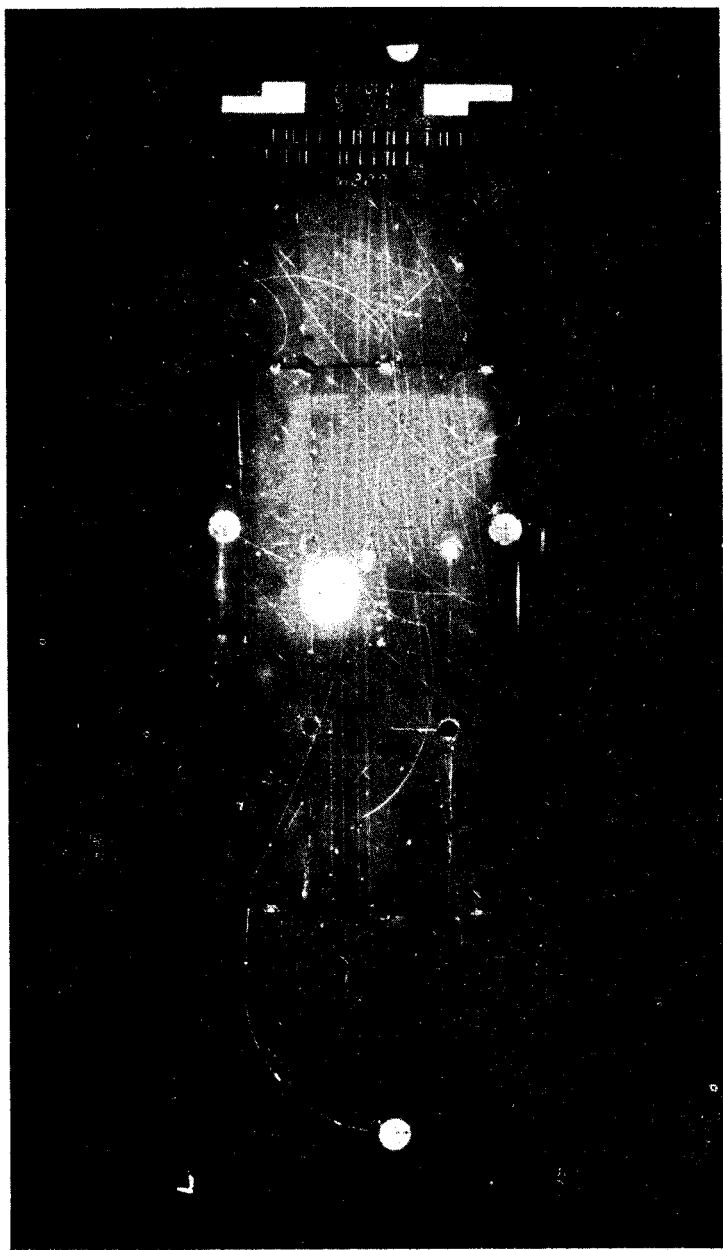


Рис. 18. Снимок частиц с первичным протонным пучком с импульсом 35 ГэВ/с в 2-метровой жидководородной камере "Людмила".