

13 - 4297

Э.В.Козубский

СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА
ПУЗЫРЬКОВЫХ ВОДОРОДНЫХ КАМЕР

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор И.В.Чувило;
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Р.М.Лебедев.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник М.И.Соловьев;
доктор технических наук А.И.Филиппов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР.

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г. на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Адрес: г.Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

А.А.Кузнецов

13 - 4297

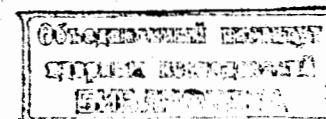
Э.В.Козубский

СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА
ПУЗЫРЬКОВЫХ ВОДОРОДНЫХ КАМЕР

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

5822 бр.



Пузырьковая камера – это одно из наиболее эффективных средств исследования в физике высоких энергий. Информация об актах взаимодействия элементарных частиц в объеме пузырьковой камеры регистрируется и извлекается стереофотограмметрическим методом. Поэтому эффективность пузырьковой камеры как детектора заряженных частиц в значительной мере определяется тем, насколько она – хорошо сконструированный стереофотограмметрический прибор.

Качества пузырьковой камеры с этой точки зрения определяются: схемой фотографирования и освещения, значениями параметров фотоаппаратуры, степенью устранения систематических искажений и т.д. Соответствующие вопросы, рассмотренные, главным образом, в связи с разработкой и созданием 100-сантиметровой пузырьковой водородной камеры^{1/} Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, и составляют содержание представленной диссертации.

Диссертация состоит из шести глав.

Первая глава содержит обзор схем фотографирования и освещения пузырьковых камер. Вторая глава посвящена описанию схемы освещения и фотографирования 100-сантиметровой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ. Конструкция стереофотограмметрической установки этой камеры описана в третьей главе. В четвертой главе дано изложение стереофотограмметрии пузырьковой камеры с использованием понятий предметного центра проекции и полюса стереоскопических параллаксов. Мето-

дика юстировки и исследования стереофотограмметрической аппаратуры описана в пятой главе. В шестой главе рассмотрены некоторые возможности усовершенствования методики пузырьковых камер.

Схемы фотографирования и освещения пузырьковых камер

Фотографирование пузырьковых камер осуществляется по схемам стереосъемки в центральной проекции. Съемка в ортогональной проекции не нашла применения, хотя она и обеспечивает устранение искажений снимка за счёт перехода главных лучей границы раздела сред стекло-жидкость^{/2/}. В отдельных случаях может оказаться целесообразным применение смешанных схем стереосъемки, в которых на одном из снимков будет изображение в ортогональной проекции, а на другом - в конической.

Для водородных пузырьковых камер, как следствие малого значения показателя преломления жидкого водорода, применяется освещение под небольшим углом к направлению фотографирования либо по схеме "на просвет", либо по автоколлимационной схеме. Автоколлимационное освещение дает возможность сократить число окон в камере, однако применение его целесообразно тогда, когда обеспечено устранение мнимых изображений следов.

В ряде предложенных схем автоколлимационного освещения для устранения мнимых изображений следов используется тот факт, что лучи, строящие реальное и мнимое изображения, отражаются от рефлектора под разными углами, например, в схемах с монолитным отражательным растром^{/3/} (рис. 1), сферическим отражательным интерференционным светофильтром^{/4/}, растром полного внутреннего отражения^{/5/} (рис. 2), полосатыми растрами^{/6,7/} (рис. 3). Можно также устранять

мнимые изображения посредством совмещения их с реальными. Этот способ предложено использовать в схеме фотографирования по скрещенным направлениям, в которой центры входных лучей объективов помещены в центры кривизны сферических зеркал^{/8/} (рис. 4). Аналогично могут быть устранены мнимые изображения при стереосъемке в ортогональной проекции: отражатель - плоское зеркало - устанавливается нормально к оси объектива^{/9/} (рис. 5).

В пузырьковых камерах с автоколлимационным освещением возникает необходимость устранения бликов нечётного порядка, начиная с первого. В частности, предложено для устранения блика первого порядка освещать камеры астигматическим световым потоком (параллельным в одном сечении и расходящимся - в другом), (рис. 6)^{/10/}.

В водородных пузырьковых камерах с малыми стеклами-иллюминаторами фотосъемка рабочего объема производится сквозь балластный объем жидкого водорода, расположенный между передним планом фотографирования и иллюминаторами. Оптические неоднородности в жидкости на пути световых лучей - один из источников искажения изображения. С целью ослабления влияния этих неоднородностей предложено^{/11/} осуществить фотосъемку камеры снизу и переохладить жидкий водород в балластной части объема камеры.

Система освещения и фотографирования пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ

Общий вид пузырьковой водородной камеры представлен на рис. 7, а схема фотосъемки и освещения - на рис. 8.

В камере осуществлено темнопольное освещение по автоколлимационной схеме с призматическим растром полного внутреннего отражения в качестве рефлектора^{/13/}. Стереосъемка объема камеры производится посредством четырех фотограмметрических

камер, оптические оси которых параллельны между собой. Все стекла-иллюминаторы камеры параллельны между собой и ортогональны оптическим осям фотокамер. Для фотосъемки применяются объективы, специально откорректированные на дисторсию от стекол-иллюминаторов и слоя жидкого водорода от стекла до плоскости наводки на резкость.

Смещение бликов от стекла-иллюминатора из центральной части кадра к краю достигнуто увеличением базиса стереосъемки до значения, немного превышающего ширину камеры, а частичное ослабление их – посредством масок в плоскости полевой диафрагмы. Задача устранения парового пузыря, которая возникает при верхнем расположении стекла-иллюминатора, решена путем наклона всей камеры совместно с электромагнитом относительно горизонтальной плоскости.

В описываемой установке применены две системы ориентирования: внешнего, посредством реперных крестов на главном стекле-иллюминаторе, и внутреннего, с помощью реперных крестов на выравнивающих стеклах фотограмметрических камер.

Призматический растр полного внутреннего отражения приводит к ослаблению мнимых изображений благодаря совместному действию двух факторов: фактора Френеля и фактора дефокусировки. Фактор Френеля для описываемой камеры обеспечивает ослабление мнимых изображений в 3,8 – 4,5 раза, а совместное их действие – примерно в 10 раз.

В камере применена низковакуумная теплоизоляция дьюарного типа/14/, при которой вакуумный кожух заполнен газообразным водородом. Слой этого газообразного водорода имеет градиент температуры, а следовательно, и градиент плотности, и вызывает рефракцию световых лучей. Эта рефракция приводит к дисторсии в 1,3 мм в плоскости наводки и на краю камеры при давлении газа в 1 ата/12/. Однако, при фотосъемке камеры сверху, когда холодное стекло находится внизу, дисторсия от градиентной рефракции – искажение систематическое, так как под действием градиента температуры конвекция затухает, и может быть учтена в программе реконструкции геометрии события.

Стерефотограмметрическая и осветительная аппаратура

Общий вид установки /15/, которая состоит из базисной плиты с четырьмя фотограмметрическими камерами, двух лентопротяжных механизмов, кассет и блока осветителя, представлен на рис. 9.

В осветитель, помимо трех импульсных ламп, введены три лампы накаливания и три дополнительных конденсатора, которые обеспечивают возможность непрерывного освещения камеры, что необходимо для визуального контроля заполнения рабочего объема и прохождения пучка частиц через камеру.

В лентопротяжных механизмах применен кривошипно-кулисный механизм (рис. 10), обеспечивающий плавный равномерно-ускоренный ход пленки/16/.

Маркировка кадров осуществлена посредством фотографирования на обе пленки единого носителя служебной информации – маркировочного шита. На этом шите имеются цифровые изображения номеров кадра, пленки и сеанса облучения камеры, а также может быть записана и иная информация (рис. 11).

Управление работой установки производится с пульта управления пузырьковой камерой/17/.

Стерефотограмметрия пузырьковой камеры

Задача определения координат точки объекта рассматривается для случая схемы камеры ЛВЭ в предположении, что оси фотокамер параллельны между собой и перпендикулярны плоским границам раздела сред в пространстве объекта.

М.М.Русиновым/18/ было показано, что в стереофотограмметрии вовсе не обязательно отождествлять положение предметного центра проекции с входным зрачком объектива, а можно выбрать в качестве такого центра любую точку, не лежащую в предметной плоскости. Здесь в качестве предметного центра проекции

выбрана точка пересечения продолжения отрезка луча в жидкости с осью фотокамеры (рис. 12), которая названа фиктивным центром проекции/19/. Положение этой точки на оси фотокамеры зависит от положения точки объекта, т.е. высота фиктивного центра проекции – величина переменная.

Фиктивные центры проекции удобны тем, что дают возможность просто определить положение полюса стереоскопических параллаксов S (рис. 13), точку, лежащую на продолжении отрезка $M_1 M_2$, где M_1 и M_2 – проекции точки объекта M на предметную плоскость P , построенные из фиктивных центров проекции O_1 и O_2 , соответственно, т.е. соответствующие точки. Полюс стереоскопических параллаксов – это точка пересечения трех плоскостей (рис. 13): предметной плоскости

P , вертикальной плоскости, определяемой перпендикулярами из фиктивных центров проекции O_1 и O_2 на плоскость P , и плоскости главных лучей, определяемой центрами проекции O_1 и O_2 и точкой объекта M . Так как высоты фиктивных центров проекции зависят от положения точки объекта, то и положение полюса стереоскопических параллаксов изменяется с изменением положения точки объекта. В частном случае, когда высоты фиктивных центров равны, полюс удаляется в бесконечность, и исчезает поперечный (базису съемки) параллакс для "соответствующих" точек M_1 и M_2 . Другое крайнее положение полюса зависит от параметров схемы и аппаратуры, например, для описываемой установки это крайнее положение полюса отстоит от точек надира примерно на 15 метров.

Согласно рис. 13, для координат соответствующих точек M_1 и M_2 имеет место соотношение:

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{X_2 - X_S}{X_1 - X_S} = \frac{X_2(H_2 - H_1) + B_{21} H_1}{X_1(H_2 - H_1) + B_{21} H_1}, \quad (1)$$

в котором X_S – координата полюса, H_2 и H_1 – высоты фиктивных центров, B_{21} – базис съемки. Это соотношение полезно тем, что дает возможность составить выражения для координат точки следа через координаты квазисоответствующих точек $M_1(X_1, Y_1)$ и $M'_2(X'_2, Y_1)$, т.е. точек пересечения обеих проекций следа линией, параллельной базису съемки, а также – поправки на продольный и поперечный параллаксы.

Влияние дисторсии от градиентной рефракции светового луча может быть учтено в виде поправки на высоту фиктивного центра проекции. Соответствующий расчёт для описываемой камеры дан в предположении линейного распределения температуры между стеклами-иллюминаторами (рис. 14).

Исследование стереофотограмметрической аппаратуры

Задача исследования стереофотограмметрической аппаратуры – это определение для каждой из фотокамер положения главной точки камеры относительно элементов внутреннего ориентирования, положения точки надира относительно элементов внешнего ориентирования, масштаба изображения предметной плоскости как функции координат точки снимка и высоты фиктивного центра проекции как функции координат точки снимка.

Определение масштабов изображения и высот центров проекции посредством расчёта по конструктивным данным для пузырьковой водородной камеры нецелесообразно вследствие усадки размеров деталей при охлаждении и трудности их контрольных измерений в рабочих условиях. В связи с этим предпочтительнее получать необходимые данные по результатам съемки тест-объекта./20/ В качестве тест-объекта применяют плиты с крестами или используют кресты внешнего ориентирования на стеклах-иллюминаторах.

Для учёта влияния показателя преломления жидкости необходимо иметь кресты в двух плоскостях: по переднему и

заднему плану фотосъемки. В камерах с автоколлимационным освещением трудно обеспечить постоянство расположения крестов по заднему плану съемки, если в качестве отражателя применен сборный растр. В этом случае можно рекомендовать призматический тест-объект (рис. 15) - тройное зеркало с крестами, устанавливаемое на контакт к стеклу-иллюминатору^{/21/}.

Так как фотосъемка пузырьковой камеры ЛВЭ производится четырьмя фотокамерами, то для точки объекта могут быть получены шесть значений координат. Эта возможность шестикратного переопределения координат точки объекта была использована для уточнения параметров системы стереосъемки. В частности, в работе^{/22/} приведено описание способа определения поправок к координатам главных точек камер по методу обратной засечки. Идею этого способа иллюстрирует рис. 16. В идеальном случае проекции на предметную плоскость трех меридиональных плоскостей, восстановленных по трем изображениям одной и той же точки объекта, должны иметь общую точку пересечения (рис. 16а). При погрешностях в координатах главных точек камер проекции этих плоскостей дадут три точки попарного пересечения (рис. 16б). Если применить предписание, что наиболее правдоподобное расположение главных точек фотокамер будет таково, при котором сумма площадей треугольников с вершинами в точках пересечения проекций меридиональных плоскостей на предметную плоскость, воспроизведенных для множества точек объекта, будет минимальна, то можно получить систему линейных нормальных уравнений относительно поправок к координатам главных точек камер. Полученные по этому способу поправки для описываемой установки привели к существенному сокращению в разбросе координат точки объекта, полученных с разных стереопар, а также к уменьшению отклонений значений координат реперов внешнего ориентирования от результатов их непосредственного замера.

Некоторые возможности усовершенствования методики пузырьковых камер

Методика пузырьковых камер развивается по многим направлениям. Среди них можно упомянуть: увеличение размеров камер и напряженности магнитного поля, применение лазеров для освещения, комбинирование двух камер с легкой и тяжелой жидкостью в одном приборе, управление пучком посредством устройств, дозирующих загрузку камеры пучковыми частицами^{/23/}, совершенствование аппаратуры для просмотра^{/24,25/} и измерения снимков, автоматизацию процесса обработки информации со снимков на базе применения электронных вычислительных машин и т.п. Некоторые успехи могут быть достигнуты благодаря усовершенствованию фоторегистрирующей аппаратуры. В работе излагаются два предложения такого рода.

Повышение скорости набора снимков может быть достигнуто, например, в случае, если камеру за один цикл ее радиационной чувствительности облучить несколькими группами частиц оптимальной загрузки и произвести соответствующее число раз фотографирование камеры. Тогда каждый последующий снимок будет содержать изображения и тех следов, которые были уже сфотографированы на предыдущих снимках. Используя предыдущий снимок как маску для вычитания фоновой информации из снимка последующего, можно получить снимок-разность с оптимальной загрузкой^{/26/}. В этом случае несколько осложняется процедура обработки информации со снимков, но зато может быть достигнуто 2-3-кратное увеличение скорости набора стереоснимков.

Ограничения на глубину фотографируемого объема камеры, обусловленные дифракцией в зрачке объектива, могут быть обойдены посредством сканирования объема камеры по глубине за время фотозаэкспозиции. Подобное сканирование может быть осуществлено, например, при покачивании объектива относительно передней узловой точки, когда плоскость наводки будет со-

вершать повороты на значительно большие углы по сравнению с углом поворота главных плоскостей объектива/27/.

Основные результаты и выводы

1. На основе рассмотренных способов устранения мнимых изображений в камерах с автоколлимационным освещением предложено применить в качестве отражателя полосатый растр. Полосатый растр — это линза с концентрическими сферическими поверхностями, тыльная сторона которой покрыта отражающим слоем, а фронтальная — чередующимися полосами из светофильтров дополнительного друг к другу цвета, и, в частности, поглощающими черными и свободными от покрытия. Показано, что устранение мнимых изображений может быть достигнуто, если ширина полос t , базис съемки B , радиус кривизны R и толщина d концентрической линзы удовлетворяют условию

$$t \approx \frac{B}{R} \frac{d}{n} \cos \phi,$$

где ϕ — угол между полосами и линией базиса съемки, а n — показатель преломления стекла линзы.

2. Предложена схема автоколлимационного освещения и фотографирования по скрещенным направлениям, в которой входные зрачки фотокамер помещены в центры кривизн сферических зеркал. В этой схеме устранение мнимых изображений следов достигается благодаря их наложению на реальные изображения.

3. Проанализированы принципиальные преимущества и существующие трудности фотографирования пузырьковых камер в ортогональной проекции. Показано, что, используя плоскопараллельные линзы и плоские зеркала, можно осуществить съемку рабочего объема пузырьковой камеры в ортогональной проекции по двум взаимно перпендикулярным направлениям через одно окно.

4. Предложено, с целью ослабления влияния неоднородностей в жидкости, заполняющей балластную часть объема камеры между стеклами-иллюминаторами и передним планом фотографирования, осуществить фотосъемку снизу, а жидкость в балластной части камеры переохладить.

5. Для пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ выбрана схема темнопольного автоколлимационного освещения с применением призматического растра полного внутреннего отражения и система стереосъемки посредством фотограмметрических камер с параллельными осями. Показано, что выбор значения поперечного базиса съемки несколько большим, чем ширина камеры, выгоден тем, что приводит к смещению бликов от центра камеры к краю. Для фотографирования использованы объективы, исправленные на дисторсию от стекол-иллюминаторов и слоя жидкого водорода до плоскости наводки на резкость.

6. Произведен расчёт величины дисторсии от градиентной рефракции светового луча в слое газообразного водорода и показано, что эта величина при давлении газа порядка 1 ата сравнима с точностью измерения. Проведен расчёт высоты фиктивного центра проекции с учётом дисторсии от градиентной рефракции в предположении линейного распределения температуры.

7. Создана стереофотограмметрическая аппаратура 100-сантиметровой пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ, которая была использована для получения более 300 000 стереоснимков. Качество их удовлетворяет предъявленным требованиям.

8. Показано, что использование понятий фиктивного центра проекции и полюса стереоскопических параллаксов полезно тем, что дает возможность получить координаты точки следа по квазисоответствующим точкам с поправками на продольный и поперечный параллаксы.

9. Для исследования точности стереофотограмметрических измерений в пузырьковых камерах с автоколлимационным освещением предложено применить призматический тест-объект в форме тройного зеркала с крестами.

10. Предложен способ определения поправок к координатам главных точек фотокамер по методу обратной засечки. Путем измерений и расчётов показано, что введение поправок на координаты главных точек камер приводит к снижению погрешностей определения координат точки объекта.

11. Предложен способ увеличения скорости набора стереоснимков в пузырьковой камере посредством неоднократного фотографирования пути импульсов пучковых частиц за один цикл расширения-сжатия пузырьковой камеры, при этом изображение на предыдущем снимке используется как маска для вычитания фоновой информации из снимка последующего, с тем, чтобы получить "снимок-разность", эквивалентный нормальному снимку.

12. Предложено, с целью увеличения глубины резкости в фотографируемом объеме, осуществить сканирование по глубине за время фотоэкспозиции посредством покачивания объективов в плоскости главного вертикала относительно передней узловой точки.

Реферлируемая диссертация базируется на работах, выполненных в отделе водородных камер Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, на кафедре оптико-механических приборов и в ОКБ ЛИТМО.

Основное содержание диссертации отражено в публикациях/7,12,13,15,19,20,22/ и в описаниях изобретений к авторским свидетельствам/3,4,6,8-11, 21,26,27/.

Л и т е р а т у р а

1. A.V.Belonogov, A.A.Belushkna, R.Vinaver, V.N.Vinogradov, V.V.Glagolev, E.I.Dyachkov, A.G.Zel'dovich, N.K.Zel'dovich, E.V.Kozubsky, R.M. Lebedev, M.Maly, N.N.Melnikova, A.M.Moiseev, I.S.Saitov, Yu.A.Turbin, E.P.Ustenko, I.V.Chuvilo and Yu.A.Shishov. Nuclear Instrum. and Methods, 20, 114, 1963.

2. М.М.Русинов. "Инженерная фотограмметрия". Недра, Москва, 1966 г.

3. Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 158 105, Бюллетень № 20, 1963 г.

4. Э.В.Козубский, М.Малы. Авторское свидетельство СССР № 152 260, Бюллетень № 24, 1962 г.

5. М.Малы. Авторское свидетельство СССР № 158 030, Бюллетень № 20, 1963 г.

6. Э.В.Козубский, М.Малы. Авторское свидетельство СССР № 160 604, Бюллетень № 4, 1964 г.

7. Э.В.Козубский, М.Малы. Отчёт ОИЯИ Б-4 1306, 1963 г.

8. Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 177 551, Бюллетень № 1, 1966 г.

9. Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 160 943, Бюллетень № 5, 1964 г.

10. Э.В.Козубский, М.Малы. Авторское свидетельство СССР № 165 075, Бюллетень № 17, 1964 г.

11. А.Г.Зельдович, Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 178 390, Бюллетень № 5, 1966 г.

12. Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц, Отчёт ОИЯИ Б4-2801, 1966 г.

13. В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Л.Коларжик, Р.М.Лебедев, М.Малы, О.Сгон, И.Тума. Препринт ОИЯИ 13-3031, 1966 г., ПТЭ №5, 170, 1967 г., ВИНТИ № 67 деп.

14. A.G.Sel'dowitsch und E.I.Djatschkow Monatsberichte der Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, В. 7, 10/11, S-813, 1965.

15. В.В.Глаголев, А.А.Гулюгин, Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Э.М.Лившиц, М.Малы, М.М.Русинов, В.П.Сергеев, В.Ф.Сиколенко, В.В.Хваловский. Препринт ОИЯИ 13-3633, 1967 г., ПТЭ №3, 225, 1968 г., ВИНТИ № 241-68 деп.

16. А.А.Гулюгин, Э.М.Лившиц, Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 198 126, Бюллетень № 13, 1967 г.

17. Т.В.Беспалова, Н.Г.Борисов, В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, А.М.Моисеев, И.С.Саитов, В.П.Сергеев, В.Ф.Сиколенко, Г.М.Сусова. Препринт ОИЯИ 13-3455, 1967 г.
18. М.М.Русинов. Известия вузов, Геодезия и аэрофотосъемка, том. 5, стр. 65, 1962 г.
19. Э.В.Козубский. Отчёт ОИЯИ БЗ-1003, 1962 г.
20. Э.В.Козубский. Отчёт ОИЯИ Б2-1183, 1962 г.
21. Э.В.Козубский. Авторское свидетельство СССР № 179 391, Бюллетень № 5, 1966 г.
22. Э.В.Козубский, Нго Куанг Зуй, Препринт ОИЯИ 13-4201, 1968 г.
23. В.В.Глаголев, Э.В.Козубский, Р.М.Лебедев, Н.И.Малашкевич, С.В.Мухин, И.И.Павлов, А.Прокеш, В.Ф.Сиколенко, И.С.Саитов, И.Н.Семенюшкин. Препринт ОИЯИ 13-3422, 1967 г. Препринт ОИЯИ 9-3582, 1967 г.
24. Э.В.Козубский, М.Малы, И.С.Саитов. Авторское свидетельство СССР № 166 971. Бюллетень № 24, 1964 г.
25. Э.В.Козубский, И.С.Саитов. Авторское свидетельство СССР № 171 931, Бюллетень № 12, 1965 г.
26. Э.В.Козубский, Ю.А.Шишов. Авторское свидетельство СССР № 222 567, Бюллетень № 23, 1968 г.
27. Э.В.Козубский, М.М.Русинов. Авторское свидетельство СССР № 216 855, Бюллетень № 15, 1968 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 февраля 1969 года.

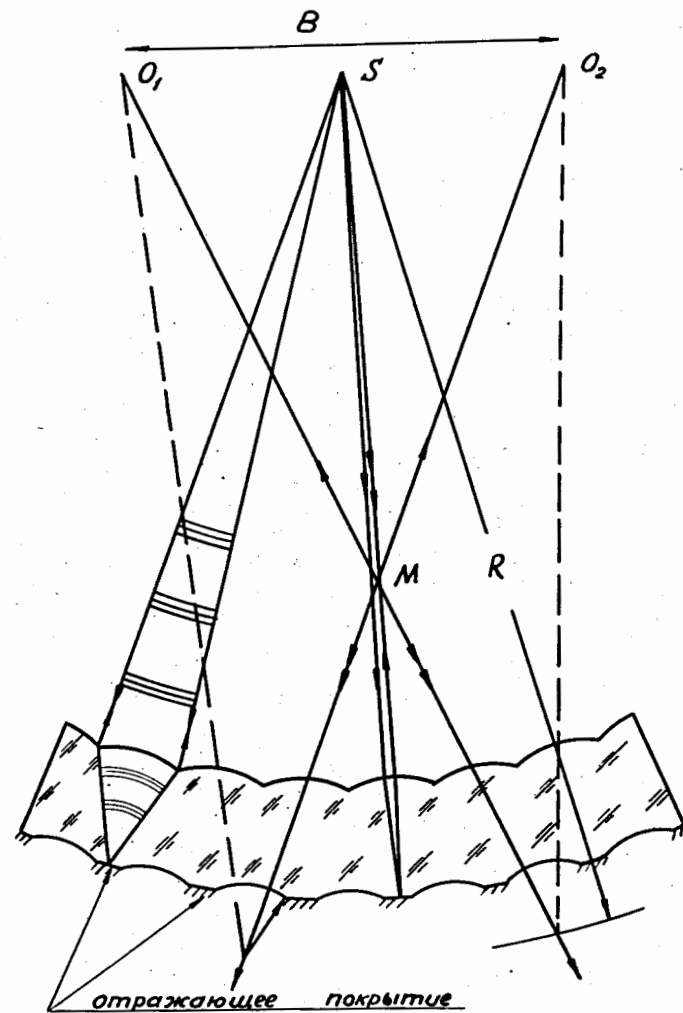


Рис. 1. Схема автоколлимационного освещения с монокристаллическим отражательным растром. S - источник света, O_1 и O_2 - объективы.

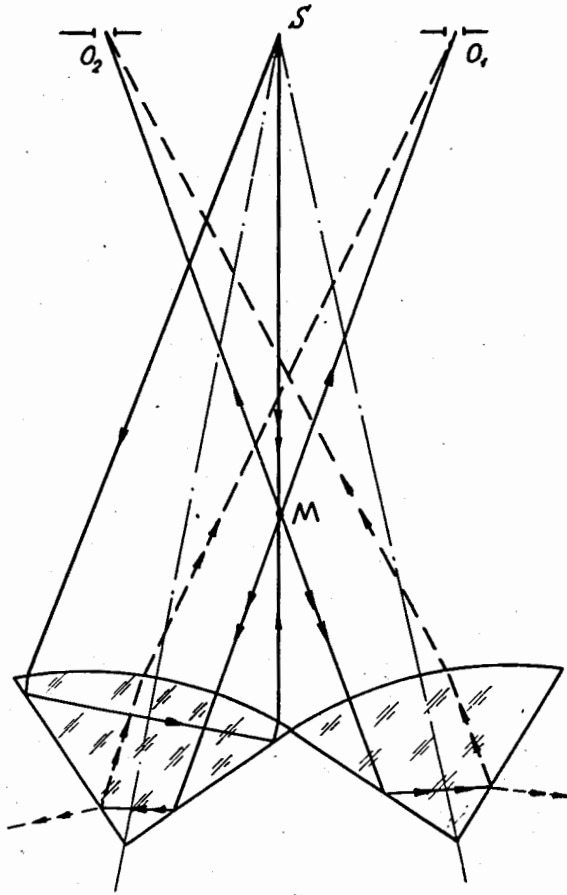


Рис. 2. Схема автоколлимационного освещения с призматическим растром полного внутреннего отражения.

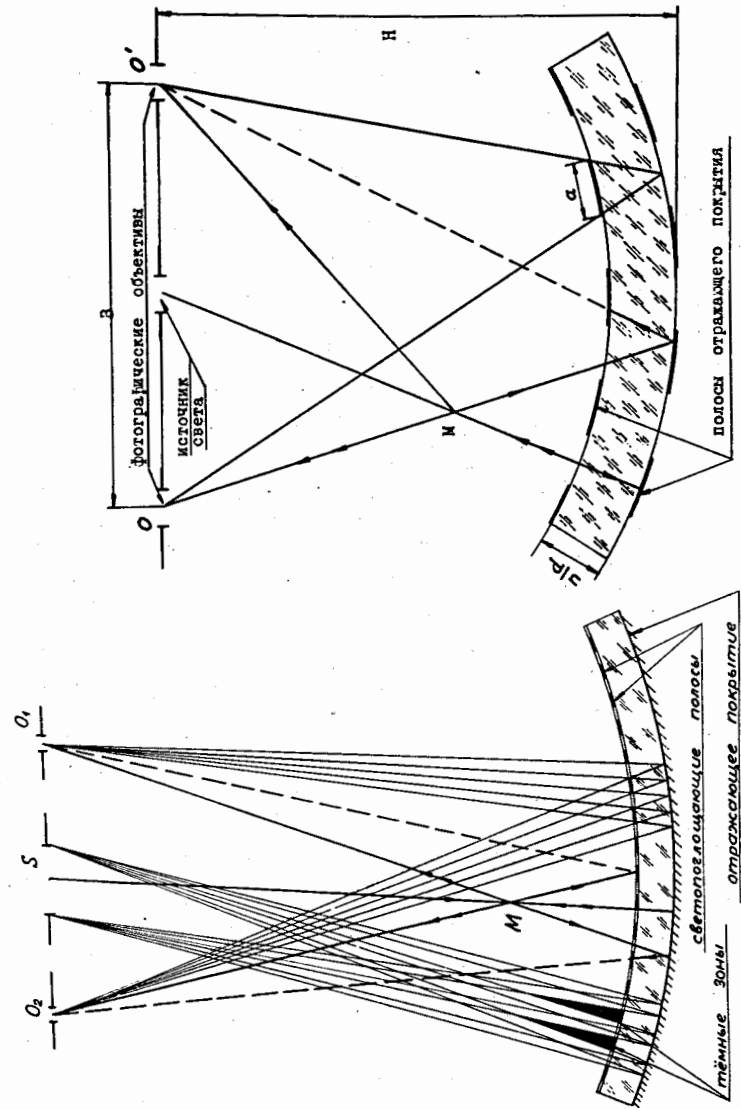


Рис. 3. Схемы автоколлимационного освещения с полосатыми растрами.

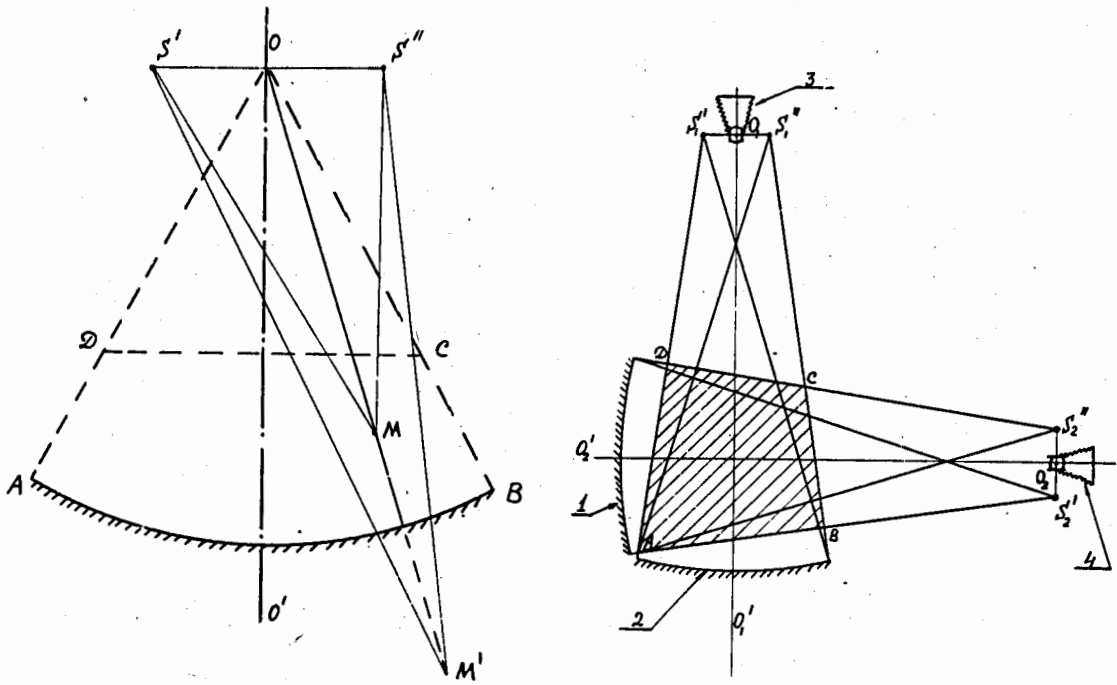


Рис. 4. Схема автоколлимационного освещения при стереосъемке по скрещенным направлениям.

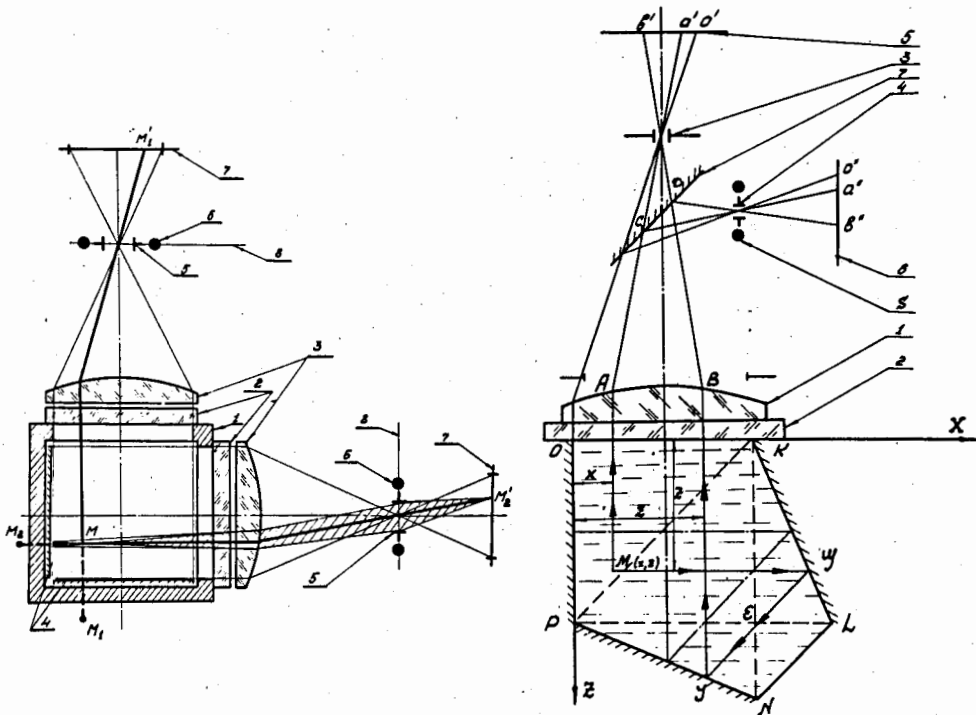


Рис. 5. Схема стереосъемки в ортогональной проекции с автоколлимационным темнопольным освещением.

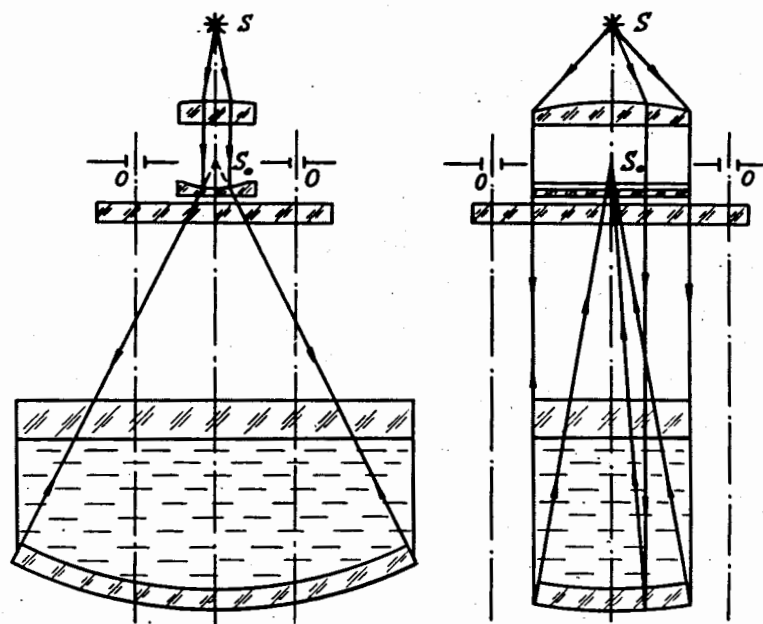


Рис. 6. Схема стереосъемки и автоколлимационного освещения камеры с устранением блика первого порядка.

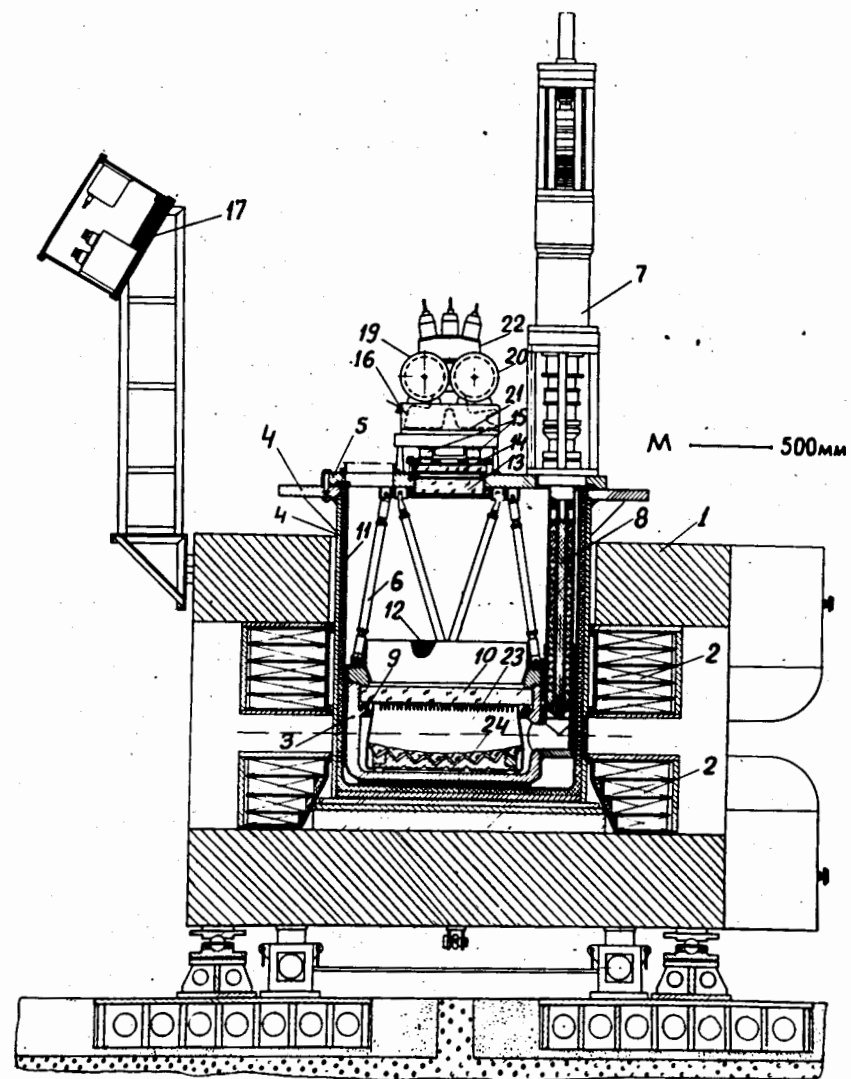


Рис. 7. 100-сантиметровая пузырьковая водородная камера ЛВЭ ОИЯИ.

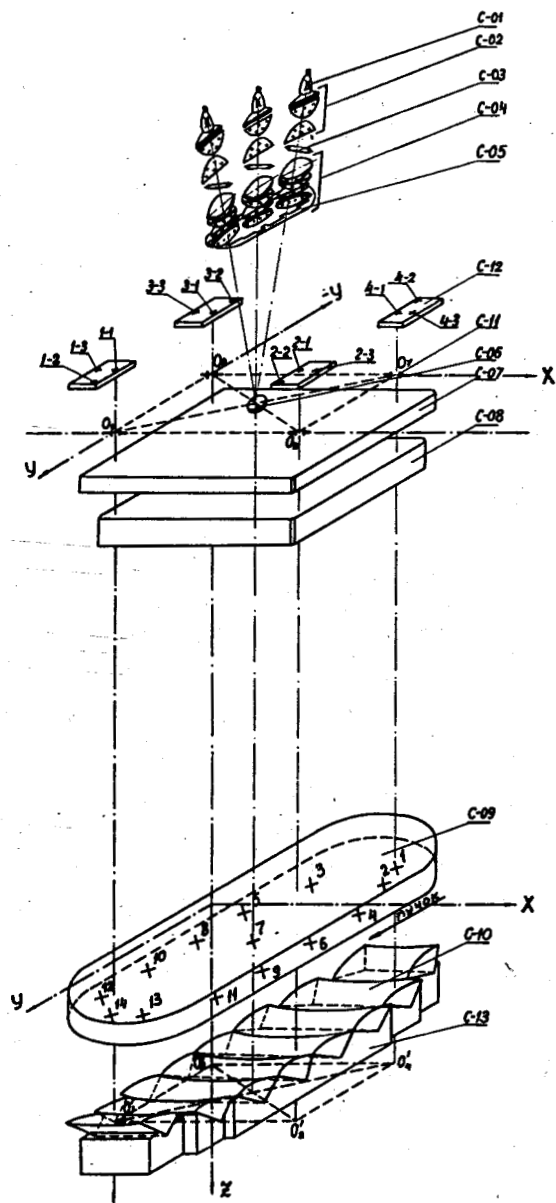


Рис. 8. Схема освещения и фотографирования 100-сантиметровой пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ.

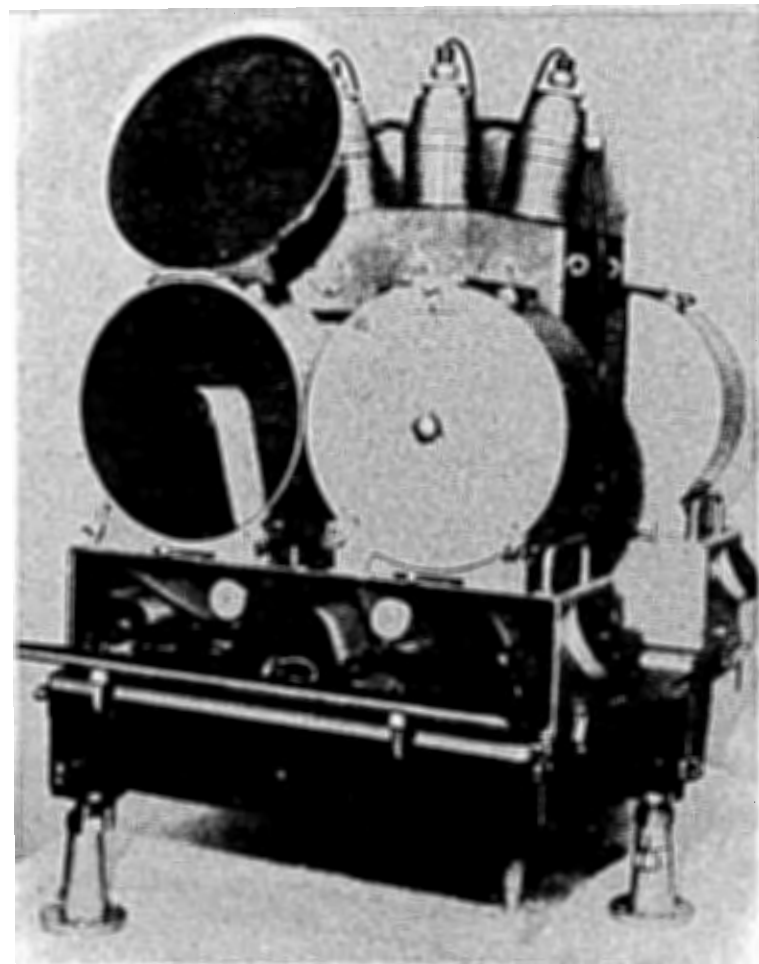


Рис. 9. Стерефотограмметрическая установка.

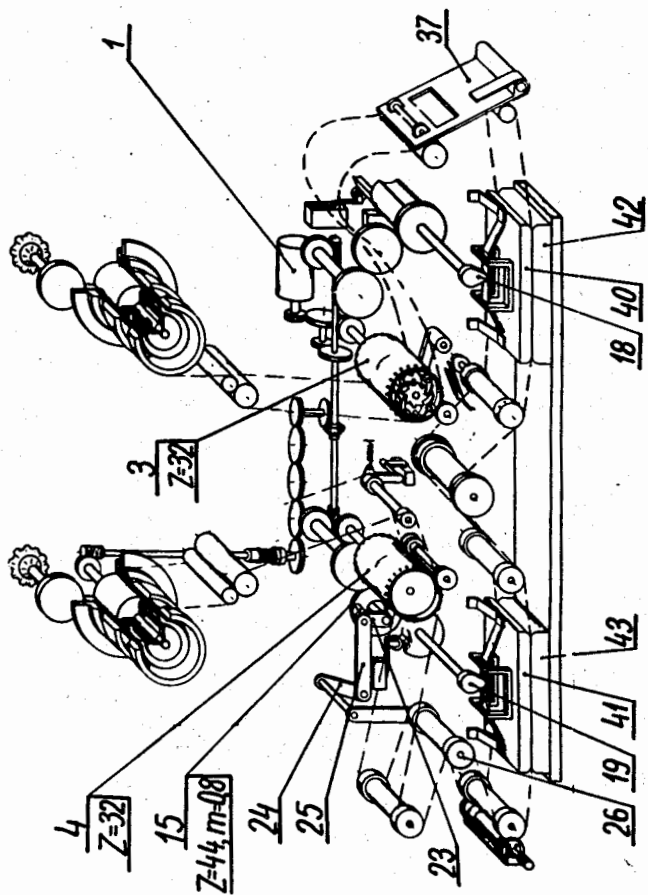


Рис. 10. Лентопротяжный механизм.

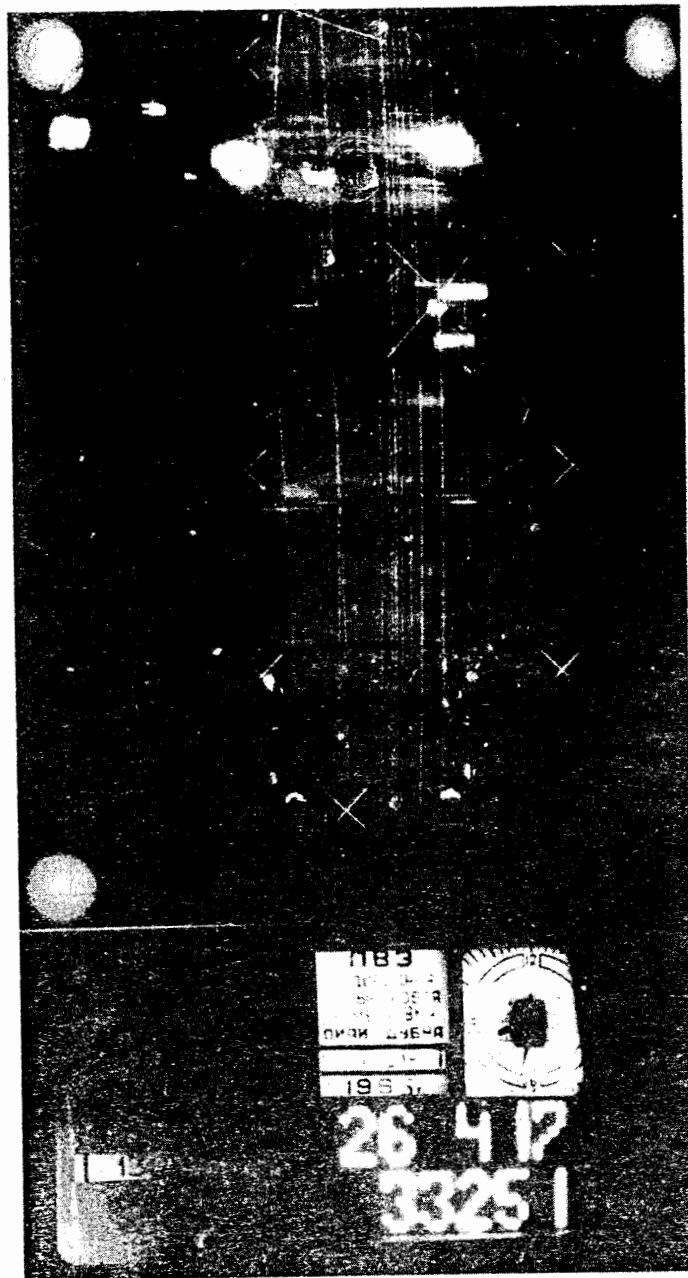


Рис. 11. Фотоснимок со 100-сантиметровой пузырьковой водородной камеры ЛВЭ ОИЯИ при облучении пи-минус мезонами с энергией 5 Гэв/с.

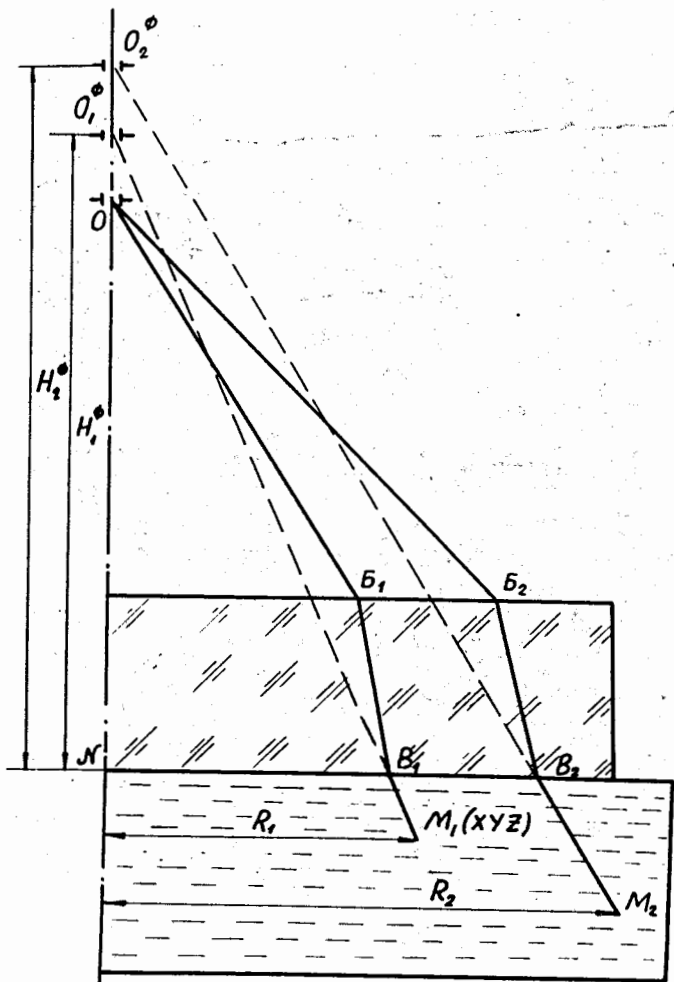


Рис. 12. Схема хода лучей в пространстве объекта через среды с плоскопараллельными границами раздела в меридиональной плоскости. O - входной зрачок объектива, O_1^ϕ и O_2^ϕ - фиктивные центры проекции для точек объекта M_1 и M_2 , соответственно.

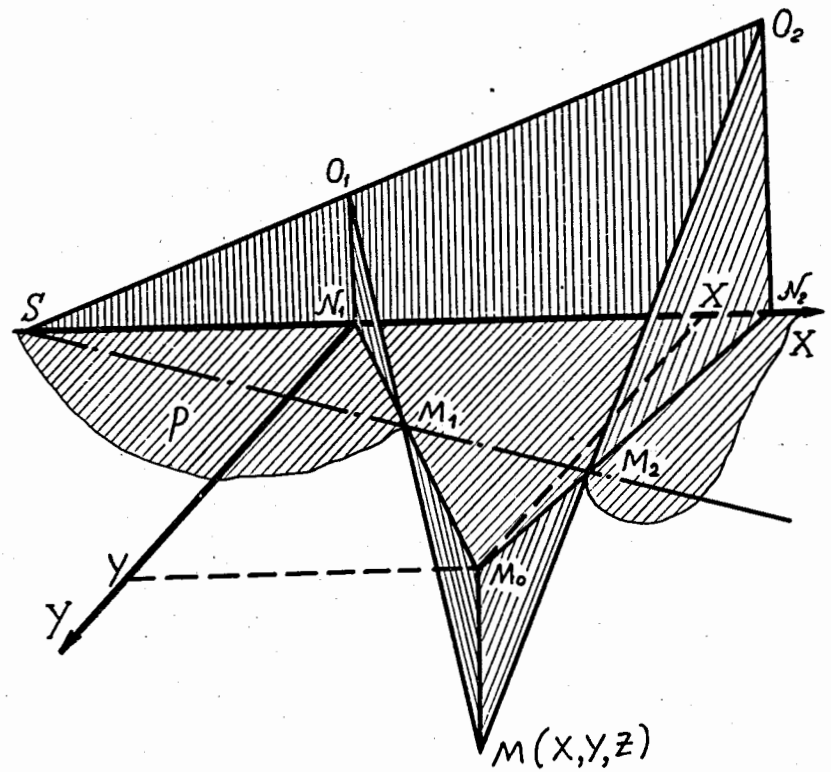


Рис. 13.

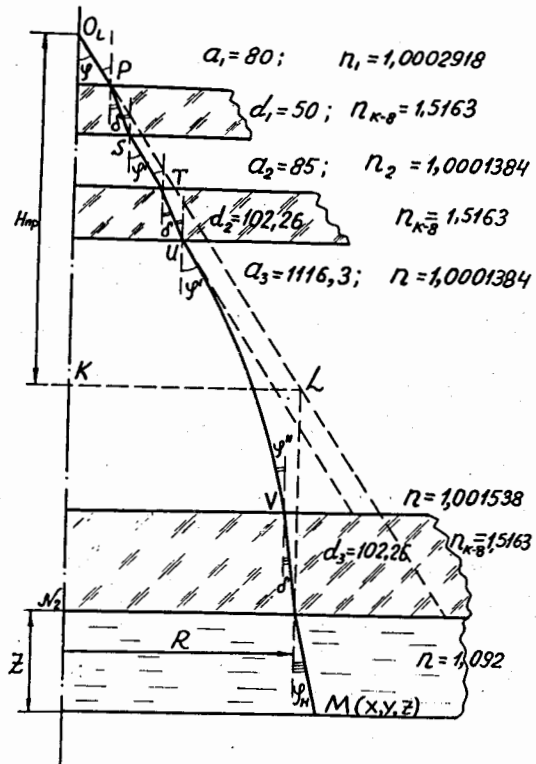


Рис. 14. Схема хода лучей (меридиональная плоскость) в камере с градиентом плотности газообразного водорода между стеклами-иллюминаторами.

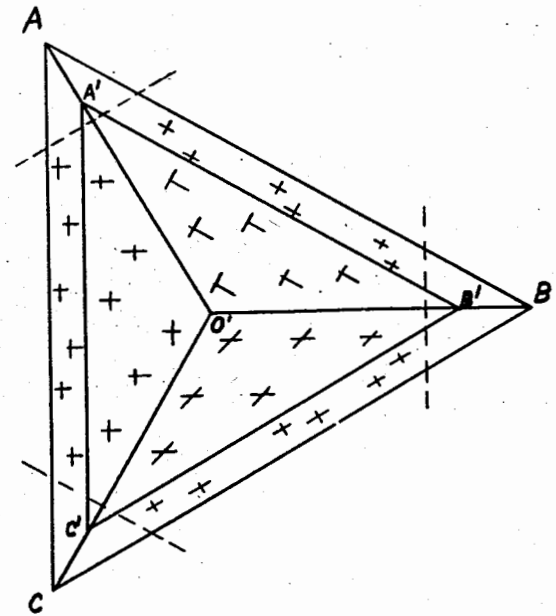
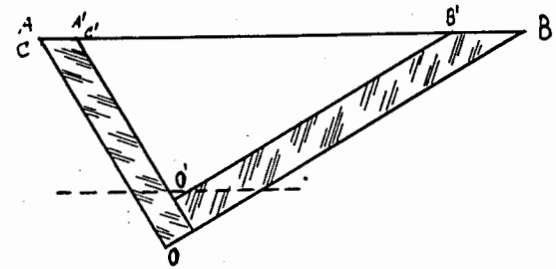


Рис. 15. Тест-объект для камер с автоколлимационным освещением и с большим стеклом-иллюминатором.

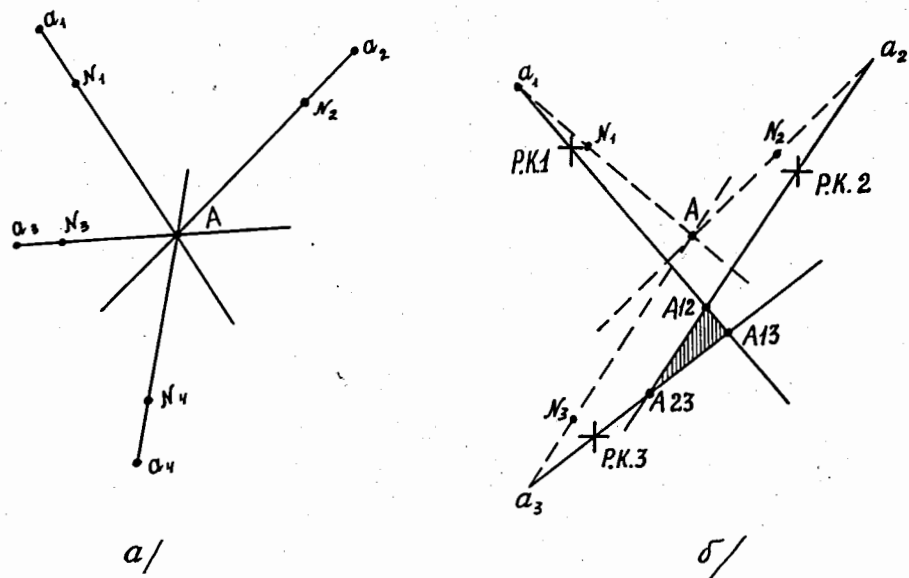


Рис. 16. Проекция меридиональных плоскостей, проходящих через оси фотокамер и общую точку объекта. а) координаты главных точек без систематических погрешностей, б) координаты главных точек с систематическими погрешностями.