

с 344.19
Г-521

ПТЭ, 1967, NS, с.170 29/xII-66

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3031



В.В. Глаголев, Э.В. Козубский, Л. Коларжик ,
Р.М. Лебедев, М. Малы, О. Сгон , И. Тума

ОПТИКА МЕТРОВОЙ ВОДОРОДНОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

НАУКА И ТЕХНИКА
ИССЛЕДОВАНИЯ

1966

13 - 3031

4683/1 мр.

В.В. Глаголев, Э.В. Козубский, Л. Коларжик*,
Р.М. Лебедев, М. Малы, О. Сгон*, И. Тума*

ОПТИКА МЕТРОВОЙ ВОДОРОДНОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

Направлено в ПТЭ



*
Лаборатория оптики Чехословацкой Академии наук

В в е д е н и е

Принципиально возможны два способа фотографирования следов в пузырьковых камерах: метод темного поля (светящийся пузырек на темном фоне) и метод светлого поля (темный пузырек на светлом фоне). Однако на практике пузырьковые камеры, также как и ранее камеры Вильсона и диффузионные камеры, создавались и создаются, главным образом с использованием для наблюдения и фотографирования метода темного поля. Камер со светлопольным освещением существует сравнительно немного. В последнее время в связи с проблемой создания гигантских водородных камер заметно возросла актуальность фотографирования по методу светлого поля. При фотографировании пузырька в темном поле в зрачок объектива, а, следовательно, и на пленку, попадает только свет, рассеянный пузырьками. (Придерживаясь установившихся традиций, мы будем ниже говорить о рассеянии света пузырьками, понимая под этим, что пузырек газа в жидкости работает как отрицательная короткофокусная линза ^{/20/}).

При фотографировании в светлом поле предпочтительно применение коллимированного светового потока, направленного во входной зрачок фотообъектива. В этом случае изображение на пленке создается за счет того, что пузырек, работающий как отрицательная короткофокусная линза, рассеивает часть светового потока, создавая тень на соответствующем участке пленки.

При светлопольном фотографировании в окрестности тени пузырька на пленке строятся изображения точек светлого поля. Вследствие эффектов расфокусировки и дифракции изображения этих точек светлого поля частично накладываются на тень пузырька, уменьшая ее размеры и контрастность. Кроме этого на контрастность тени пузырька влияет рассеяние света на неоднородностях жидкости. Эти обстоятельства приводят к тому, что при прочих равных условиях в светлом поле удастся сфотографировать лишь объекты существенно больших размеров чем в темном, т.е. сравнительно старые пузырьки. Водородные пузырьковые камеры по способу взаимного расположения осветителя и фотоаппарата подразделяются на две группы: камеры с освещением "напросвет" и

камеры с автоколлимационной системой освещения. В обоих случаях камера конструируется так, чтобы направления падающего на пузырек и рассеянного во входной зрачок объектива потоков света составляли бы небольшой угол ($5-15^\circ$). Это обстоятельство связано с малым значением показателя преломления жидкого водорода ($n \approx 1,082$), которое обуславливает узкий характер индикатриссы рассеяния света паровым пузырьком с максимальной интенсивностью в направлении падающего потока света. Именно по этой причине не было до сих пор создано водородной пузырьковой камеры с фотографированием под прямым углом к направлению освещения. Однако усовершенствование источников света и особенно применение лазеров^{/18, 19/} открывают возможность применения классической схемы освещения (под прямым углом к направлению фотографирования) и для водородных пузырьковых камер.

Наилучшее качество фотографий следов по равномерности освещения объема камеры, отсутствию паразитных засветок, бликов можно обеспечить, применяя освещение "напросвет", т.е. располагая источник света и фотоаппарат диаметрально противоположно относительно объема камеры. Однако схема освещения камеры "напросвет" требует два стекла-иллюминатора в корпусе камеры, что вызывает некоторые конструктивные трудности и увеличивает теплоприток через стекла.

На рис. 1 представлена простейшая схема автоколлимационного освещения объема камеры^{/11/}. На дне рабочего объема камеры размещено сферическое зеркало. В центре кривизны этого зеркала размещен либо источник света, либо его изображение конденсором. Освещаемый объем - это конус с вершиной в источнике света и со сферическим зеркалом в основании. Источник и его изображение в сферическом зеркале накладываются друг на друга. Световой поток после отражения от зеркала вновь фокусируется в источник света. Таким образом, объем камеры в этом случае освещен двумя потоками света, направленными навстречу друг другу.

Фотообъективы (2 или более) стереофотоаппарата размещены симметрично относительно источника света.

Эта простейшая автоколлимационная система освещения с применением сферического зеркала является наилучшей из известных, с точки зрения равномерности освещения, наличия паразитных засветок и бликов. Однако она обладает существенным недостатком: в ней наряду с прямыми изображениями следов фотографируются и их зеркальные изображения в сферическом зеркале.

На рис. 2 представлен ход лучей, строящих прямое и зеркальное изображения пузырька. Прямое изображение пузырька образуется за счет рассеяния на нем света в обратном ходе, т.е. после отражения от зеркала. Часть рассеянного на пузырьке света попадает во входные зрачки фотообъективов и образует его прямое изображение. Зеркальное изображение образуется за счет рассеяния на пузырьке света в прямом ходе и попадания части этого рассеянного света после отражения от зеркала во входные зрачки фотообъективов.

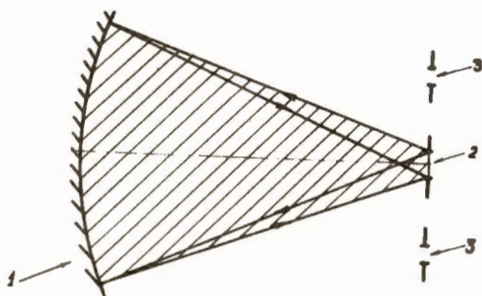


Рис. 1. Простейшая автоколлимационная схема освещения. 1 - сферическое зеркало, 2 - источник света или его изображение, 3 - фотообъективы. Заштрихованная область - освещаемый объем.

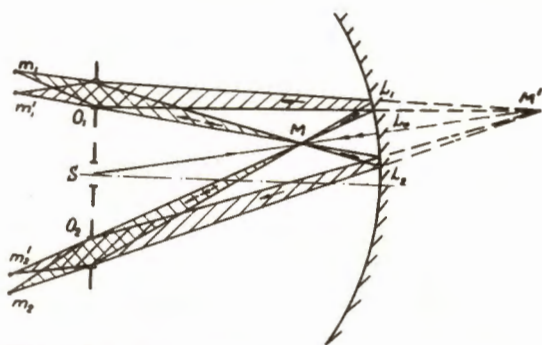


Рис. 2. Автоколлимационная схема со сферическим зеркалом. М - пузырек, М' - зеркальное изображение М, S - источник света, O₁ и O₂ - фотообъективы, m₁ и m₂ - изображение пузырька, m'₁ и m'₂ - изображение зеркального пузырька.

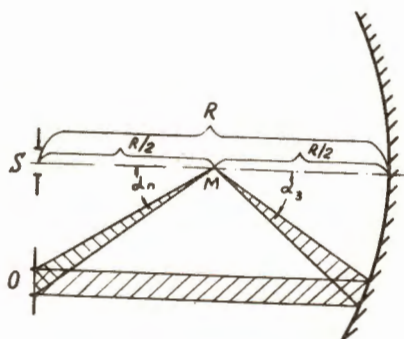


Рис. 3.

Изображения на пленке "зеркальных" следов в данной автоколлимационной системе освещения получаются не менее четкими и, кроме того, более широкими вследствие расфокусировки, чем изображения "прямых" следов, что приводит к затруднениям при анализе снимков. Легко показать, почему в простейшей автоколлимационной схеме освещения со сферическим зеркалом изображения "зеркальных" следов получаются отнюдь не хуже, чем изображения "прямых" следов.

Количество света, рассеянного на пузырьке и вошедшего во входные зрачки фотообъективов, определяется, главным образом, углом рассеяния света (SMO_1 и SMO_2 на рис. 2) и апертурным углом. Для "зеркального" и "прямого" пузырьков обе эти величины (угол рассеяния и апертурный угол) одинаковы. В самом деле, рассмотрим рис. 3, на котором для наглядности пузырек помещен в фокальную плоскость зеркала. Изображение источника света, построенное этим пузырьком и сферическим зеркалом, находится в бесконечности. Видно, что углы рассеяния света α_n для "прямого" и α_3 для "зеркального" пузырьков равны. Равны также и апертурные углы, так как фотографирование "прямого" и "зеркального" пузырьков ведется одним объективом, а расстояния от пузырька до объектива и до зеркала равны между собой, и от зеркала во входной зрачок объектива идет параллельный световой поток.

Если взять другое крайнее положение для пузырька - на поверхности зеркала - то и в этом случае обе величины: угол рассеяния и апертурный угол для "прямого" и "зеркального" пузырьков - будут равны, так как оба эти пузырька совпадают друг с другом.

Практически эффект подавления изображений "зеркальных" следов за счет расфокусировки не работает ввиду того, что экспозиция подбирается из условия надежного фотографирования с хорошим контрастом пузырьков, расположенных на краю рабочего объема (точки на краю зеркала). При этом условии заведомо хватает света для экспонирования "зеркальных" пузырьков, расположенных ближе к центру зеркала.

Количество света, попадающего от пузырька во входной зрачок фотообъектива, обратно пропорционально 4-ой степени расстояния пузырька до источника света, а освещенность в дифракционном пятне (изображении источника света объективом) падает с 7-ой степенью косинуса угла (для апланатического источника) падения луча света на фотопленку. Поэтому экспонирование пузырьков на практике реализуется с большим запасом, следовательно, даже при большой расфокусировке "зеркального" пузырька все-таки хватает света для его фоторегистрации.

Зеркальные изображения удваивают число следов на снимке. Чтобы не затруднять анализ таких снимков приходится существенно уменьшить поток пучковых частиц в камеру. По изложенным причинам система со сферическим зеркалом не нашла распространения и была заменена растровой автоколлимационной системой.

Растровые автоколлимационные системы

Предлагалось много решений задачи устранения "зеркальных" следов в автоколлимационной системе освещения. Одни решения базировались на пространственном разделении световых лучей, строящих изображения "прямых" и "зеркальных" следов. Среди этих решений необходимо отметить следующие: жалюзи^{/12/}, растр камеры Альвареца^{/2/ x)}, призматический растр Малы^{/5/}, полосатые растры^{/13/} и отражательный интерференционный светофильтр^{/14/}.

Другие решения базируются на ослаблении яркости "зеркальных" следов либо за счет их дробления в многослойном зеркале со светоделительными поверхностями^{/15/}, либо за счет их расфокусировки^{/18/}.

Для камер, фотографирование которых осуществляется по скрещенным направлениям, возможно устранение изображений "зеркальных" следов за счет совмещения их с изображениями "прямых" следов^{/17/}.

Не считая своей задачей сравнительное сопоставление всех перечисленных предложений, отметим, что эффективным и успешно реализованным на практике^{/2, 3, 4/} оказался пока только растр камеры Альвареца^{/2/}. Однако растру камеры Альвареца свойственен ряд недостатков: имея соотношение между шириной и высотой элементов примерно $1/8$, растр должен набираться из значительного числа элементов (например, для растра описываемой камеры при высоте элементов 60 мм потребовалось бы около 100 элементов). Входная поверхность элементов имеет эллиптический профиль большой кривизны, поэтому растр Альвареца очень чувствителен к изменениям показателя преломления; дает блики. Органическое стекло, из которого изготавливается растр Альвареца, сравнительно быстро стареет при охлаждениях и нагреваниях камеры, начинает "серебриться" и становится непригодным для работы.

Имея в виду перечисленные недостатки растра Альвареца, для освещения метровой водородной камеры ЛВЭ мы применили призматический растр М. Малы^{/5/}, который в отличие от растра Альвареца имеет соотношение между шириной и высотой элементов $2/1$ вместо $1/8$; имеет элементы с входной поверхностью малой кривизны тородиального вида, изготавливается из оптического стекла; имеет все поверхности элементов свободными от каких-либо покрытий.

x) Здесь и в дальнейшем под растром камеры Альвареца имеется в виду растр Дуэйна^{/22/}.

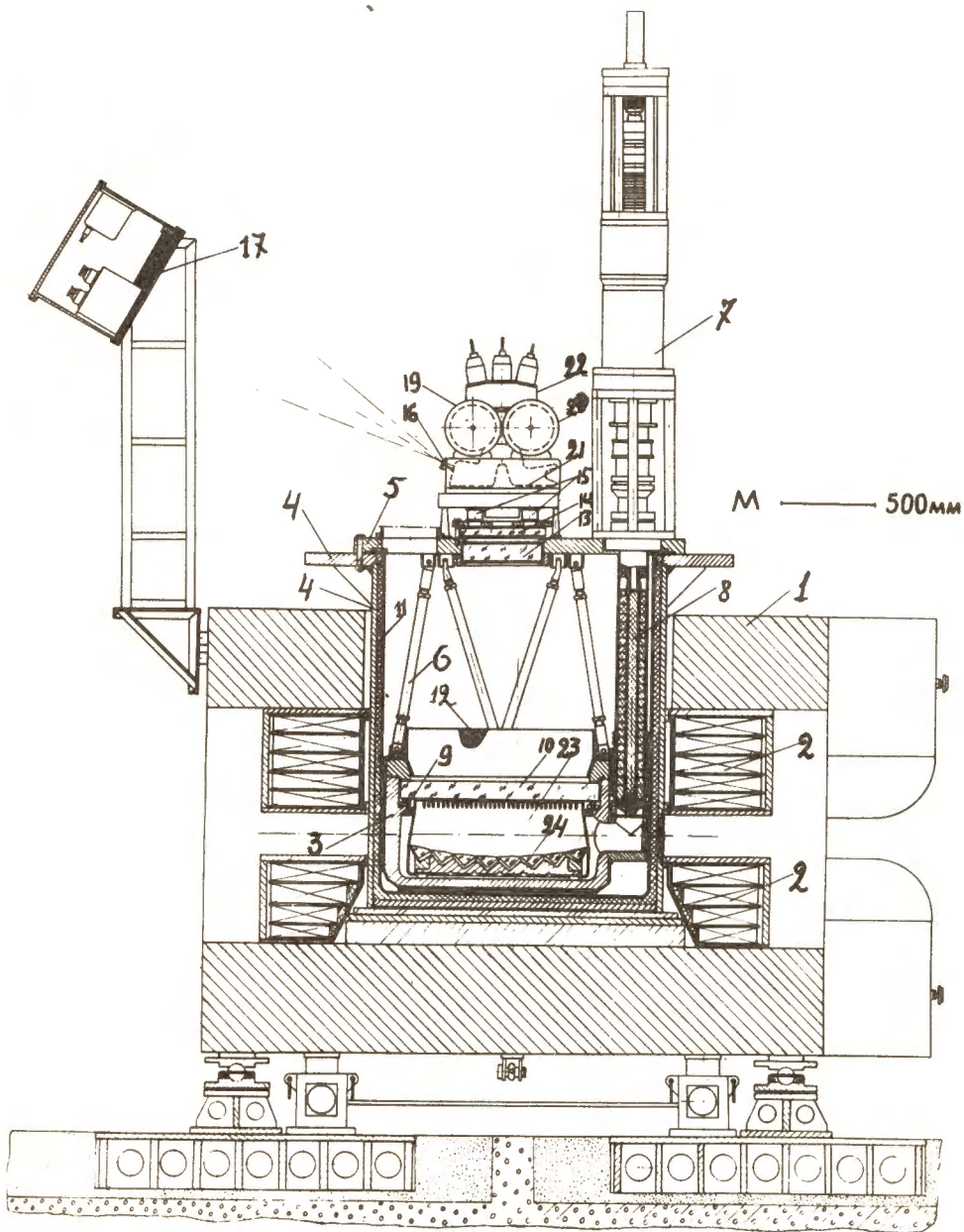


Рис. 4. Водородная пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ (разрез вдоль пучка).

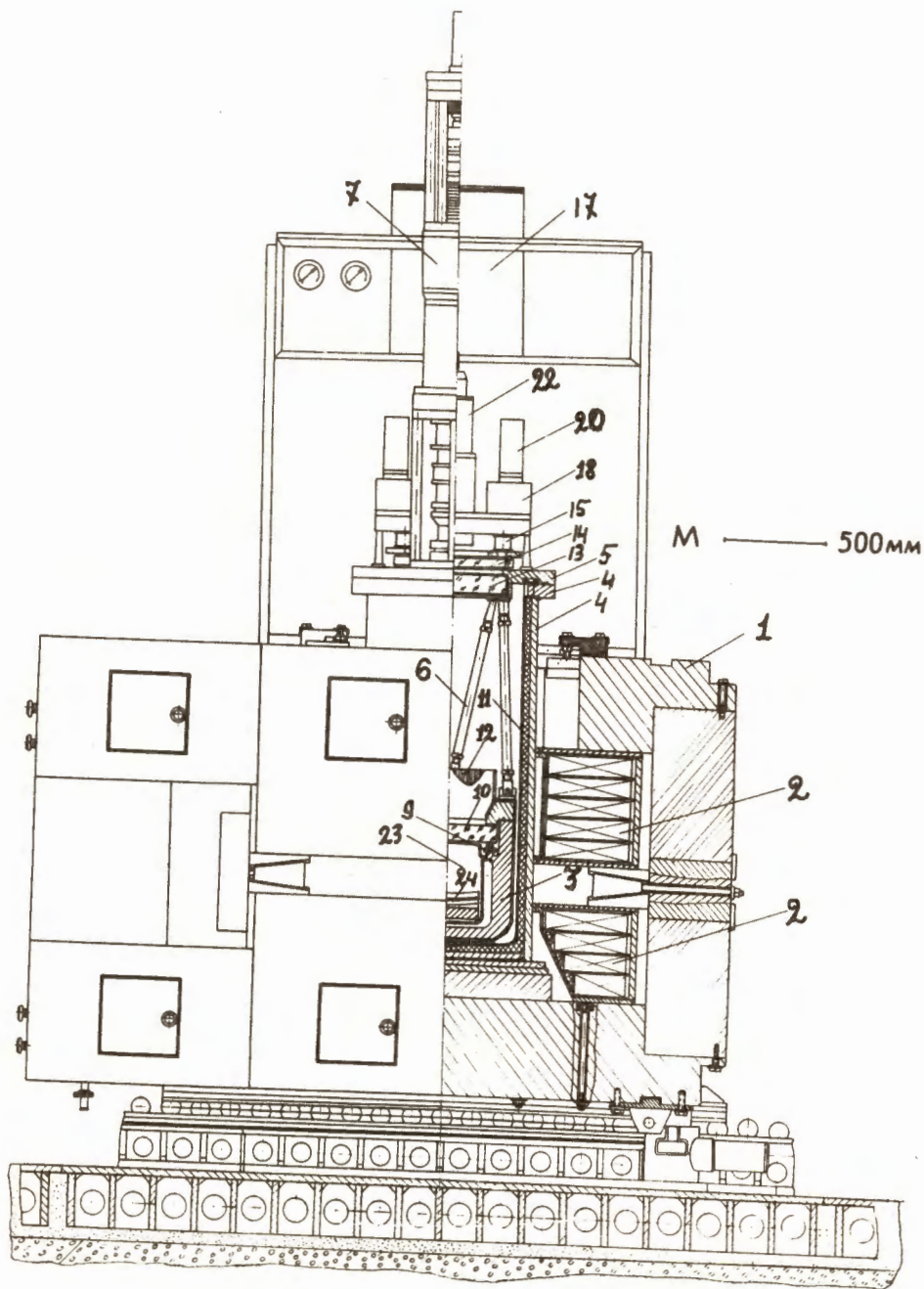


Рис. 5. Водородная пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ (разрез поперек пучка).

Выбор габаритов и конструкция камеры. Основные отличия

Для изучения разного рода неупругих процессов с образованием короткоживущих частиц в области энергий первичных частиц до 10 Гэв, камера длиной 1 метр является достаточно высокоэффективным прибором.

Используя расчеты ^{/21/}, легко показать, например, что геометрическая эффективность камеры с размером 850x350x300 мм ^{/1/} по отношению к регистрации K^0 -мезона с импульсом 3 Гэв/с в лабораторной системе достигает 80% (наибольший импульс K^0 -мезона, возникающего при аннигиляции антипротонов с импульсом 5 Гэв/с, составляет 3,3 Гэв/с).

По схеме освещения и фотографирования наша камера наиболее близка к камерам с автоколлимационной системой освещения: 72-дюймовой камере Калифорнийского университета в Беркли ^{/2/}, 2-метровой водородной камере Брукхэвене ^{/3/} и 560-миллиметровой водородной камере Института теоретической и экспериментальной физики в Москве ^{/4/}.

Камера помещена в зазоре электромагнита-соленоида типа МС-12. Магнит имеет две горизонтально расположенные катушки и один сердечник - нижний полюс. Вместо верхнего полюса имеется большое окно для размещения камеры. Напряженность магнитного поля в рабочей области МС-12 составляет в среднем 18 500 эрстед; неоднородность поля в горизонтальной плоскости пучка не превышает 1%, а по вертикали поле монотонно спадает, уменьшаясь от дна до стекла камеры не более чем на 7%.

Корпус камеры ЛВЭ размещается в вакуумном кожухе и подвешивается к верхней плите этого вакуумного кожуха. На верхней плите вакуумного кожуха размещены: механизм изменения давления, фотоаппарат, осветитель, вводы и выходы газовых систем. Общая конструкция водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ представлена на рис. 4 и 5. Здесь:

- 1 - магнит МС-12,
- 2 - обмотки электромагнита МС-12,
- 3 - корпус камеры,
- 4 - корпус вакуумного кожуха камеры,
- 5 - верхняя плита вакуумного кожуха камеры,
- 6 - тяга подвески корпуса камеры к верхней плите вакуумного кожуха камеры,
- 7 - механизм изменения давления в камере,
- 8 - поршень механизма изменения давления,
- 9 - надувное уплотнение стекла-иллюминатора корпуса камеры,
- 10 - стекло-иллюминатор корпуса камеры,
- 11 - слоистая теплоизоляция,
- 12 - радиатор,
- 13 - аварийное стекло-иллюминатор,

- 14 - стекло - иллюминатор вакуумного кожуха камеры,
- 15 - главные объективы фотоаппарата,
- 16 - дополнительные объективы фотоаппарата, предназначенные для фотографирования маркировочного щита,
- 17 - маркировочный приборный щит,
- 18 - лентопротяжные механизмы,
- 19 - кассета подающая,
- 20 - кассета приемная,
- 21 - траектория пленки,
- 22 - осветитель камеры,
- 23 - рабочий объем камеры,
- 24 - призматический растр.

Основные отличия оптической системы водородной пузырьковой камеры ЛВЭ следующие:

1. Все стекла - иллюминаторы параллельны между собой в перпендикулярных направлениям напряженности магнитного поля и оптических осей фотографических объективов.
2. Удаление из рабочей зоны камеры всплывающих пузырьков, а вместе с ними и парового пузырька, обеспечивается наклоном всего магнита совместно с камерой относительно направления пучка частиц на $1,5^\circ$.
3. Применен отражательный растр нового типа ^{1/5},
4. Базис стереоскопического фотографирования (500 мм) превосходит ширину рабочего объема камеры (350 мм).
5. Освещение камеры осуществлено по автоколлимационной схеме посредством трех импульсных ламп. Фотографирование камеры производится четырехобъективным стереоскопическим фотоаппаратом.

Фотографирование камеры

Схема оптики водородной пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ представлена на рис. 6. Здесь:

- С-01 - три лампы накаливания, обеспечивающие подсветку рабочего объема камеры для визуального наблюдения;
- С-02 - три асферических двухлинзовых конденсора, строящих изображения ламп С-01 в разрядных промежутках импульсных ламп С-03;
- С-03 - три импульсных лампы типа ИФК-50, обеспечивающие освещение камеры для фотографирования;

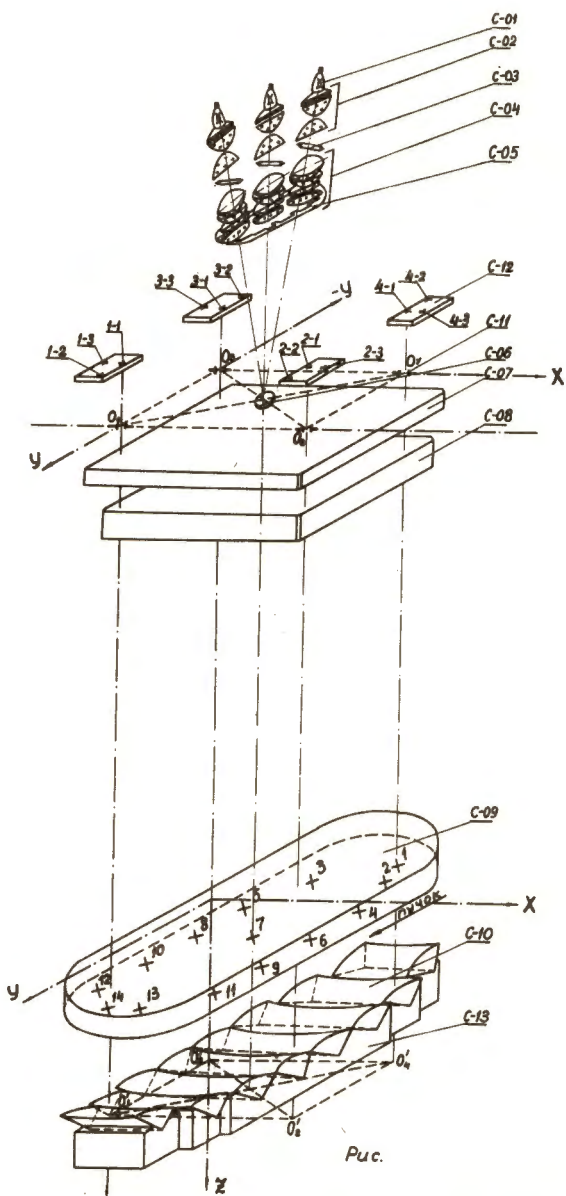


Рис. 8. Схема оптики водородной пузырьковой камеры ЛВЗ ОИЯИ.

- С-04 - три апланатических конденсора, строящих изображения ламп С-03 в плоскости коллектива С-06 с увеличением $6\times$;
- С-05 - полевая диафрагма, ограничивающая освещаемую зону рабочего объема камеры и имеющая выступы для частичной (но существенной) экранировки бликов источника света от стекла - иллюминатора С-09 ;
- С-06 - коллектив, размеры которого определяют габариты эффективного источника света для освещения камеры;
- С-07 - стекло-иллюминатор вакуумного кожуха камеры;
- С-08 - стекло-иллюминатор аварийной защиты С-07 в случае разрушения С-09;
- С-09 - стекло-иллюминатор корпуса камеры;
- С-10 - элементы призматического раstra;
- С-11 - 4 фотографических объектива (O_1, O_2, O_3, O_4), изображающих объем камеры в плоскости выравнивающих стекол С-12;
- С-12 - 4 выравнивающих стекла, определяющих местоположение кадров стереоскопического снимка (стереоквартета);
- С-13 - плата крепления элементов призматического раstra С-10.

На поверхности стекла-иллюминатора С-09, граничащей с жидким водородом, выгравированы 14 реперных крестов, элементов внешнего ориентирования (1, 2, ... 14). На поверхностях выравнивающих стекол С-12, граничащих с фотопленкой, выгравированы 12 реперных крестов, элементов внутреннего ориентирования (1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1, 3-2, 3-3, 4-1, 4-2, 4-3).

Взаимное расположение объективов O_1, O_2, O_3 и O_4 и выравнивающих стекол таково, что оптические оси объективов проходят сквозь (или в непосредственной близости) кресты 1-1, 2-1, 3-1 и 4-1 соответственно. Базисное расстояние стереоскопического фотографирования между крестами 1-1 и 2-1, а также 3-1 и 4-1 составляет 500 мм, а между 1-1 и 3-1, а также 2-1 и 4-1 - 310 мм.

Система координат в пространстве камеры XYZ - праввинтовая. Оси X и Y лежат в плоскости нижней поверхности главного стекла-иллюминатора. Ось Y - параллельна пучку частиц; ось Z направлена вдоль направления фотографирования.

Фотографирование камеры ЛВЭ осуществляется четырьмя объективами "Руссар-плазмат Т2" с фокусным расстоянием 150 мм и углом поля зрения $2\beta = 64^{\circ}1'$. Главные направления фотографирования - оптические оси объективов параллельны между собой, отстоят друг от друга как вершины прямоугольника со сторонами 500 и 310 мм, перпендикулярны поверхностям всех трех стекол-иллюминаторов камеры и ориентированы

так, что наибольший базис фотографирования перпендикулярен наибольшему габариту рабочего объема камеры (950 мм).

Фотографирование объема камеры производится на две перфорированные пленки шириной 80 мм со средним масштабом изображения 1/8,5. Объективы "Руссар-плазмат Т2" откорректированы с целью компенсации дисторсии, вносимой стеклами-иллюминаторами камеры и слоем жидкого водорода от стекла-иллюминатора до плоскости наведения. Роль корректирующих элементов выполняют пластинки С-12, к которым в момент фотографирования прижимается пленка.

В цитированных работах ^{/2,4/} в целях смещения блика источника света от стекла-иллюминатора корпуса из центральной области на край осуществлено наклонное расположение стекла-иллюминатора в корпусе камеры. Вместе со стеклом наклонно расположены и фотокамеры с тем, чтобы сохранить ортогональность оптических осей объективов к границе раздела сред стекло - жидкий водород. Для указанных камер характерно верхнее расположение стекла. Таким образом, наклон стекла относительно горизонтальной плоскости одновременно способствует удалению из-под стекла-иллюминатора парового пузыря.

Полное устранение блика путем наклона стекла-иллюминатора достигается при углах наклона порядка 10° , например, для камеры ЛВЭ этот угол составил бы $12^\circ 30'$. Однако обычно в камерах осуществляют наклон на меньший угол ($\approx 3-4^\circ$) и при этом блик устраняется только для части фотоснимков.

В камере ЛВЭ ОИЯИ задача частичного устранения блика решена иным путем ^{/6,7/}, а именно за счет увеличения базиса стереоскопического фотографирования до значения 500 мм, превышающего ширину камеры (350 мм). При этом блики сдвигаются на край, и отпадает необходимость в наклоне стекла-иллюминатора камеры, так как блик на краю играет меньшую роль и его проще ослабить посредством масок.

Выбор увеличенного значения базиса стереоскопического фотографирования придает камере ЛВЭ дополнительное преимущество, а именно: относительная точность измерения глубинной координаты по сравнению с точностью измерения плановых координат, определяемая соотношением базиса и высоты фотографирования выше, чем при обычном выборе размера базиса ($B/H = 500/1575 = 1/3,1$ вместо обычных $1/5 - 1/8$).

В описываемой камере осуществлено фотографирование объема на четыре кадра, что удобно для выбора благоприятной стереопары и размещения в рабочем объеме камеры пластин-конверторов для регистрации γ -квантов.

Освещение камеры

Освещение камеры ЛВЭ производится тремя импульсными лампами ИФК-50, при этом каждая лампа освещает одну треть рабочего объема камеры. Три апланатических

конденсора С-04 строят изображения разрядных участков всех трех импульсных ламп в главной плоскости коллектива С-06, размещенного в плоскости входных зрачков фотообъективов С-11, в центре базисного прямоугольника.

Питание импульсных ламп обеспечивается от батареи конденсаторов емкостью 300–2 400 мкф при напряжении 200–170 вольт. Предусмотрена возможность варьирования длительности вспышки в интервале 0,5–1 мсек.

Выбор схемы освещения был сделан на основе расчета рассеяния света на пузырьке в предположении, что пузырек ведет себя как линза. Расчеты были проведены^{/8/} для жидкого водорода ($n = 1,08 - 1,11$) и для жидкого азота ($n = 1,20$); при этом принималось, что внутри пузырька $n = 1$. Измерения рассеяния света на пузырьках в жидком азоте^{/9,10/} показали согласие с расчетом (см. рис. 7). Расчеты показали, что в жидком водороде в режиме пузырьковой камеры доля рассеянного света быстро растет с уменьшением угла рассеяния. Отсюда следовал вывод, что нужно так выбрать параметры схемы освещения, чтобы угол между направлениями от пузырька на источник света и на объективы был минимальным и слабо изменялся с перемещением пузырька по объему камеры. Этому требованию удовлетворяет размещение источника света или его изображения в плоскости входных зрачков фотообъективов и в центре базисного прямоугольника.

Как и в любой автоколлимационной схеме освещения, в описываемой камере свет от трех источников света направляется сквозь стекла-иллюминаторы С-07, С-08 и С-09 к растру С-10, а затем после отражения от растра попадает обратно в коллектив С-06. Таким образом, рабочий объем камеры оказывается освещенным в двух направлениях: в прямом ходе до попадания света на растр и в обратном ходе, после отражения от него.

В плоскости полевой диафрагмы С-05 размещены четыре выступа (маски), которые экранируют места образования бликов на стекле-иллюминаторе С-09. Эти выступы вызывают образование небольших затененных участков в объеме камеры. Площадь этих затененных участков примерно вдвое меньше изображения неэкранированного блика с ореолом на пленке. Вследствие выбранного значения базиса фотографирования эти затененные участки располагаются на краю рабочей области камеры и потому практически не уменьшают эффективного объема камеры.

Призматический растр

Устранение, а точнее ослабление мнимых, зеркальных изображений в призматическом растре достигается подбором материала – оптического стекла для элементов растра так, чтобы отношение показателей преломления окружающей среды – жидкого водорода к показателю преломления материала растра было равно или немного меньше

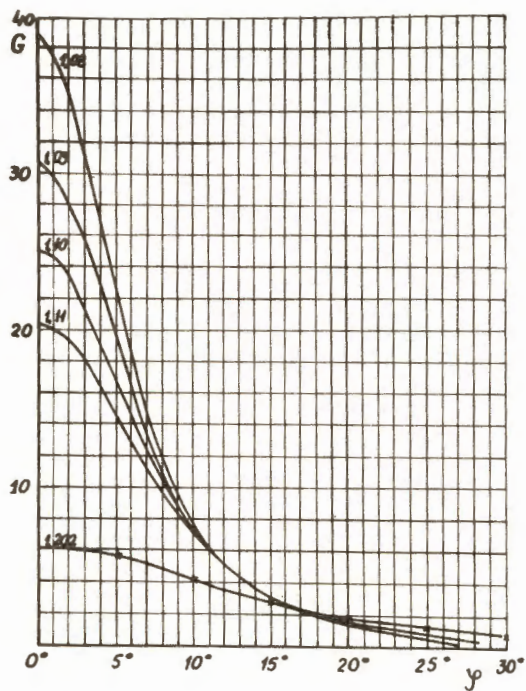


Рис. 7. Угловая зависимость рассеянного пузырьком света (расчетная) для нескольких значений показателя преломления жидкости.

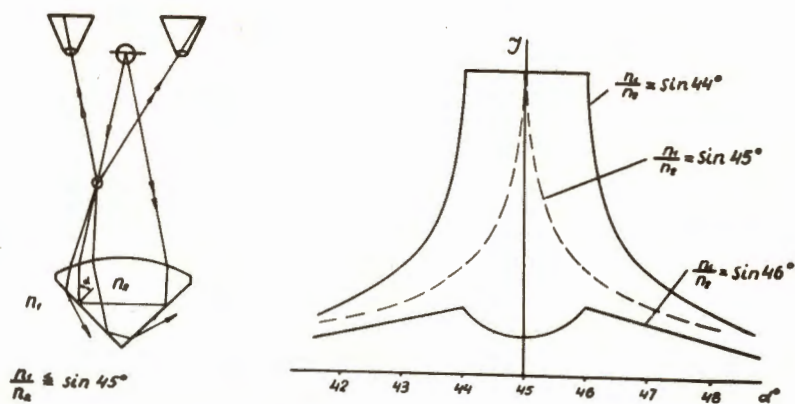


Рис. 8. Схема работы призматического элемента раstra полного внутреннего отражения и угловая зависимость коэффициента ослабления зеркальных изображений (множитель Френеля).

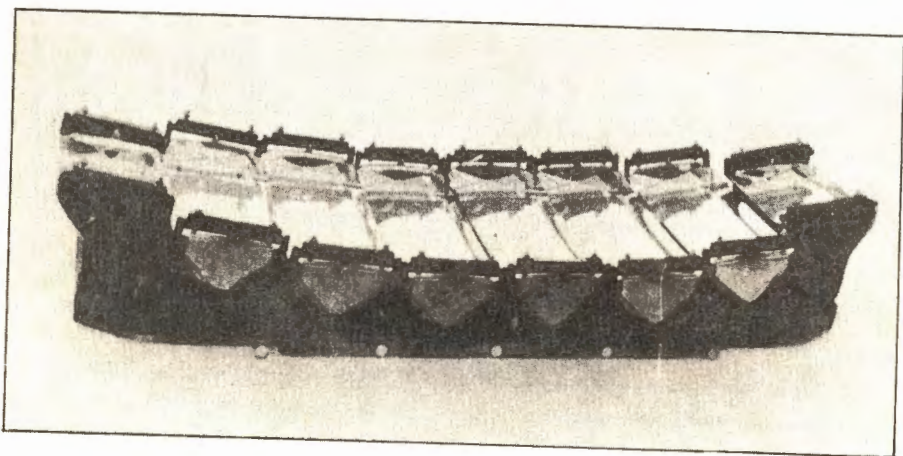


Рис. 9. Призматический растр полного внутреннего отражения в сборе.

синуса 45° . При таком условии все лучи света, падающие на отражающие грани призм раstra под углами $\alpha = 45^\circ + \Delta\alpha$, испытывают полное внутреннее отражение. Здесь $\Delta\alpha = 45^\circ - \alpha_n$ при условии

$$\sin \alpha_n = \frac{n_{\text{среды}}}{n_{\text{раstra}}}.$$

Лучи, падающие под большими или меньшими углами, на одной из граней испытывают частично отражение, а частично преломление. В результате этого отраженный световой поток ослабляется в зависимости от угла падения в соответствии с кривой, представленной на рис. 8 (множитель Френеля).

Для элементов раstra выбрано стекло БК-10 с показателем преломления 1,5688; при этом $\alpha_n = 44^\circ$. Для геометрии описываемой камеры коэффициент ослабления мнимых (зеркальных) изображений следов в призматическом растре составляет величину порядка 5, что вместе с расфокусировкой обеспечивает 10-кратное подавление мнимых (зеркальных) следов.

Форма поверхностей элементов раstra: входная (и она же выходная) поверхность - тороидальная; обе отражающие поверхности - конические с прямым углом между ними. Относительное расположение элементов раstra видно из рис. 6, 9 и 10.

Как уже упоминалось, соотношение ширины к высоте элемента призматического раstra составляет 2/1, тогда как у элементов раstra ^{12/} - 1/8; это приводит к сокращению числа элементов в растре и, соответственно, числа границ между ними в 12 раз при равной высоте обоих растр. Растр из стекла не подвержен серебрению и не имеет каких-либо покрытий. По указанным причинам призматический растр имеет целый ряд преимуществ технологического характера.

Технология изготовления призматического раstra

Изготовление призматических элементов раstra было осуществлено посредством специального станка, общий вид которого представлен на рисунке 11. Сначала изготавливались прямые призматические заготовки, затем они подвергались моллированию для изгиба их по радиусу около 1900 мм. Шлифовка призм осуществлялась на указанном станке.

Станок представляет собой стол, на котором установлены две параллельные искривленные вогнутые или выпуклые направляющие - шаблоны соответствующего радиуса. По этим шаблонам перемещается каретка, на которой, в свою очередь, также установлены два шаблона перпендикулярно первым. При одновременном движении двух кареток верхняя

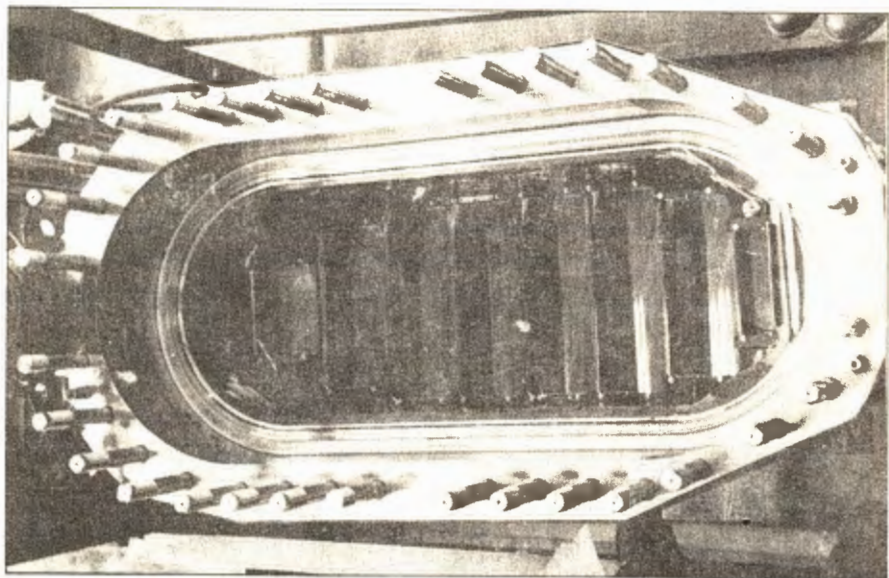


Рис. 10. Призматический растр в корпусе камеры.

каретка совершает движение по поверхности двойной кривизны. На верхней каретке устанавливается шлифовальный или полировальный круг (вращающийся) с гидроприводом, которым и осуществляется обработка поверхностей элемента раstra. Предусмотрена сборка станка в разных вариантах: различные шаблоны, одна или две каретки в зависимости от выполняемой операции. Контроль углов и качества поверхностей осуществлялся посредством специальных шаблонов.

На рисунке 12 станок представлен в момент обработки (шлифовки) конической поверхности – ось шлифовального круга установлена под 45 градусов к плоскости каретки. На рисунке 13 станок представлен в момент обработки тороидальной поверхности. На рисунке 14 представлены элементы раstra в различных стадиях изготовления.

Полировка поверхностей призм осуществлялась на первом этапе на обычном станке с фрикционным приводом фирмы "Цейсс" с помощью специальных приспособлений, а на втором этапе – на описанном выше станке .

Указанный специальный станок полностью удовлетворил требования к изготовлению элементов раstra. Призмы были изготовлены с точностью $1' - 2'$ в угле между образующими конических поверхностей и отклонением образующей конической поверхности от прямой на всей ширине не более 0,5 микрона.

З а к л ю ч е н и е

Типичные фотоснимки следов в метровой водородной пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ приведены на рис. 15 и 16.

Мы считаем своим приятным долгом выразить глубокую признательность Чехословацкой Академии наук и особенно академику Я. Кожешику за предоставленную возможность изготовления раstra в Лаборатории оптики ЧСАН. Мы также очень благодарны коллективу Лаборатории оптики ЧСАН и ее руководителю проф. Б. Гавелке.

Нам весьма приятно выразить свою глубокую благодарность проф. М.М. Русинову, Э.М. Лившицу, Н.В. Викторову, В.В. Хваловскому и А.Ш. Шахвердову за весьма полезные обсуждения вопросов оптики пузырьковых камер и руководство разработкой и изготовлением объективов, фотоаппарата и осветителя для камеры ЛВЭ.

За полезные дискуссии мы благодарим В.М. Горбункова.

За участие в изготовлении элементов раstra и других оптических деталей камеры мы выражаем благодарность коллективу оптической мастерской ЛВЭ и особенно Г.А. Королеву.

За поддержку в осуществлении всего проекта камеры в целом и ценные советы мы глубоко признательны академику В.И. Векслеру и доктору физико-математических наук И.В. Чувило.

Л и т е р а т у р а

1. A. V. Belonogov, A. A. Belushkina, R. Vinaver, V. N. Vinogradov, V. V. Glagolev, E. I. Dyachkov, A. G. Zel' dovich, E. V. Kozubaky, R. M. Lebedev, M. Maly, N. M. Melnikova, A. M. Moiseev, I. S. Saitov, Yu. A. Turbin, E. P. Ustenko, I. V. Chuvilo and Yu. A. Shisov. Nuclear Instrum and Methods. 20. 114 (1963).
2. I. D. Gow and A. H. Rosenfeld. Intern. Conf. on high-energy accelerator and Instrum. CERN. 1959 p. 435.
3. W. B. Fowler and others Nucl. Instrum and Methods. 20, p. 100 (1963).
4. Г.К. Клигер, В.З. Колганов, А.В. Лебедев, В.Т. Смолянкин, А.П. Соколов. ПТЭ, 3, стр. 5 (1964).
5. М. Малы, Авторское свидетельство № 158030.
6. Э.В. Козубский и М. Малы. Авторское свидетельство № 165075.
7. Э.В. Козубский, Р.М. Лебедев и Э.М. Лившиц. ОИЯИ Б4-2801 (1966).
8. М. Малы, В.В. Глаголев, И.И. Скрыль. ОИЯИ Б2-1002 (1962).
9. В.В. Глаголев, М. Малы. ОИЯИ Б4-2303 (1965).
10. В.В. Глаголев, М. Малы. ОИЯИ Б4-2304 (1965).
11. А.В. Белоногов, А.Г. Зельдович, В.З. Колганов, Л.Г. Ландсберг, А.В. Б Лебедев, С.Я. Никитин, В.Т. Смолянкин и А.П. Соколов. ПТЭ, 1, стр. 38 (1958).
12. В.М. Горбунков. Авторское свидетельство № 127051.
13. Э.В. Козубский и М. Малы. Авторское свидетельство № 160604; ОИЯИ Б-4 1306 (1963).
14. Э.В. Козубский и М. Малы. Авторское свидетельство № 152260.
15. H. Courant. Intern. Conferen. on high-energy accelerators and Instrum. CERN-1959, p. 465.
16. В.М. Горбунков. ПТЭ № 6, стр. 41 (1962).
17. Э.В. Козубский. Авторское свидетельство № 177551.
18. М.Д. Галанин, В.М. Горбунков, Н.Б. Делоне, В.В. Коробкин, А.М. Леонтович, И.С.Саятов. Авторское свидетельство № 176332.
19. М.Д. Галанин, В.М. Горбунков, Н.Б. Делоне, В.В. Коробкин, А.М. Лебедев, А.М. Леонтович, Д.Ф. Ракигин, И.С. Саятов, М.Н. Смирнова. XII Международная конференция по физике высоких энергий т. II, стр. 513 (1966). Атомиздат, Москва.
20. Ю. Александров, В. Горбунков и др. ПТЭ № 1, 113 (1960).
21. Н.Н. Мельникова. ПТЭ 1, 32 (1962).
22. Norrgren Duane U. Патент США, кл. 88-1, № 3045528.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 ноября 1966 г.

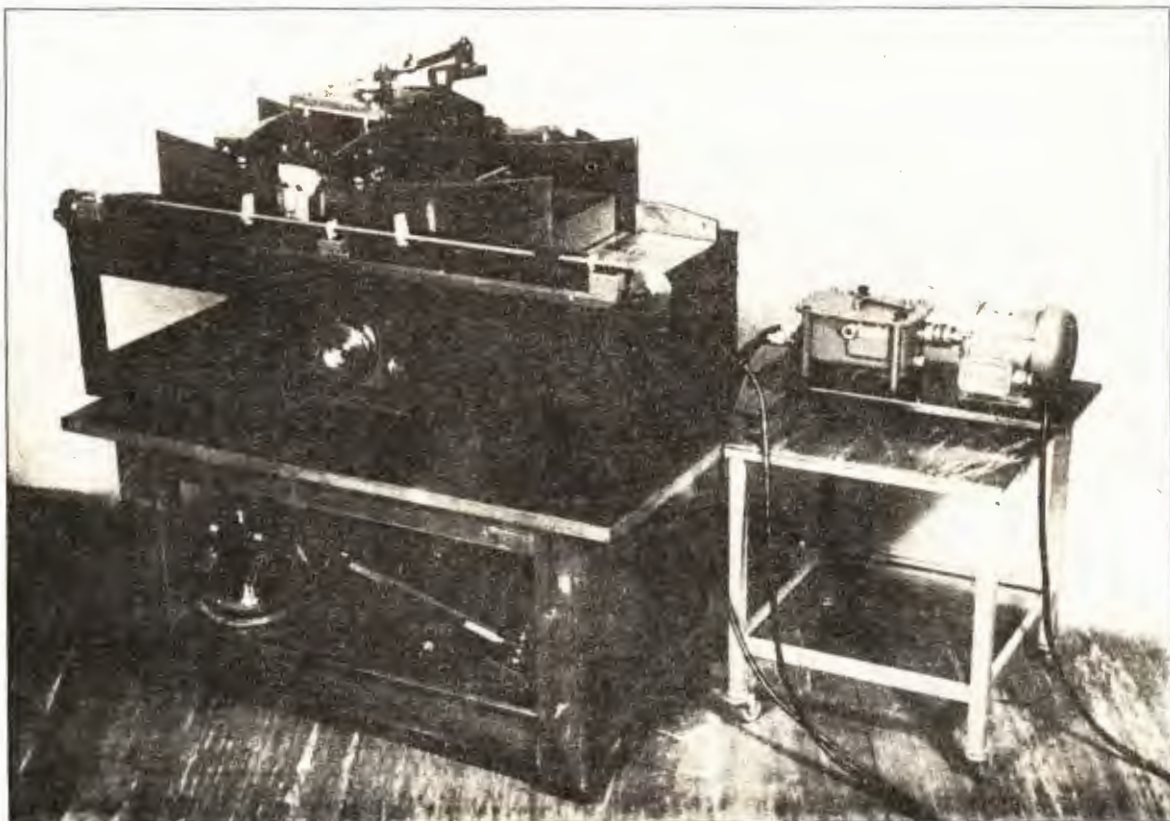


Рис. 11. Станок для изготовления асферических элементов призматического раstra (общий вид).

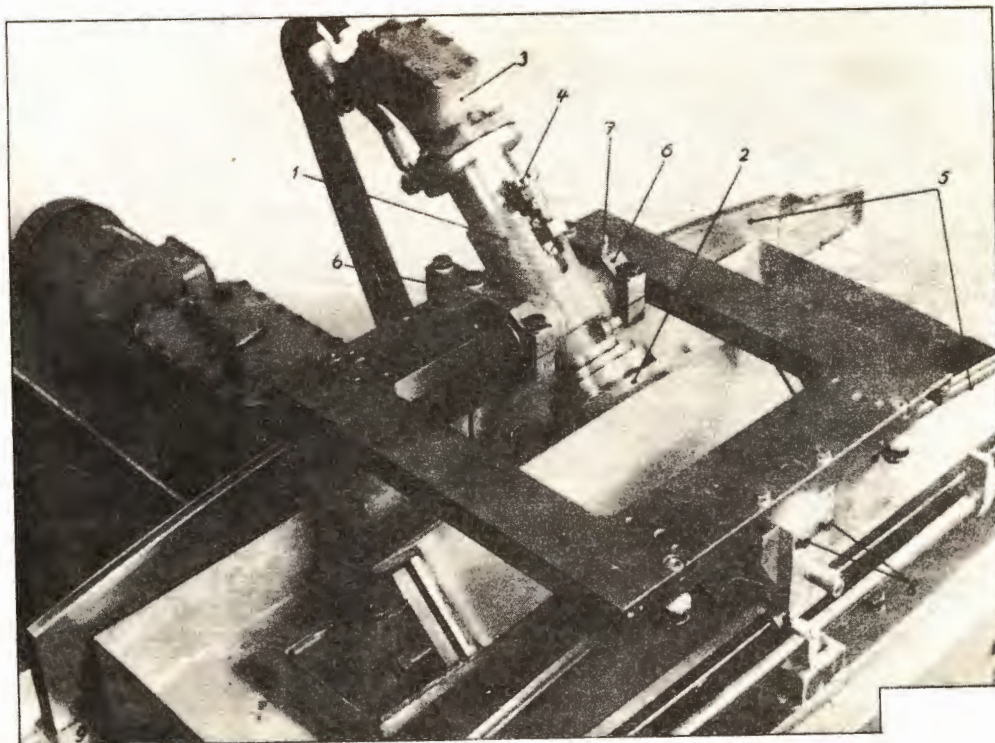


Рис. 12. Момент обработки конической поверхности элемента раstra.

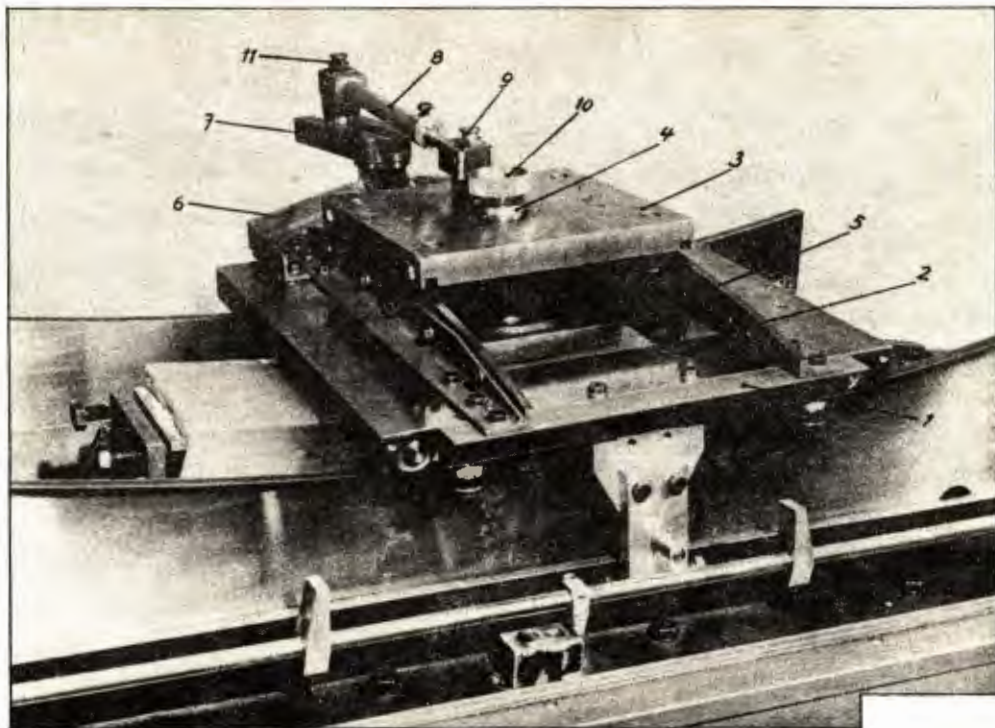


Рис. 13. Момент обработки торoidalной поверхности элемента раstra.

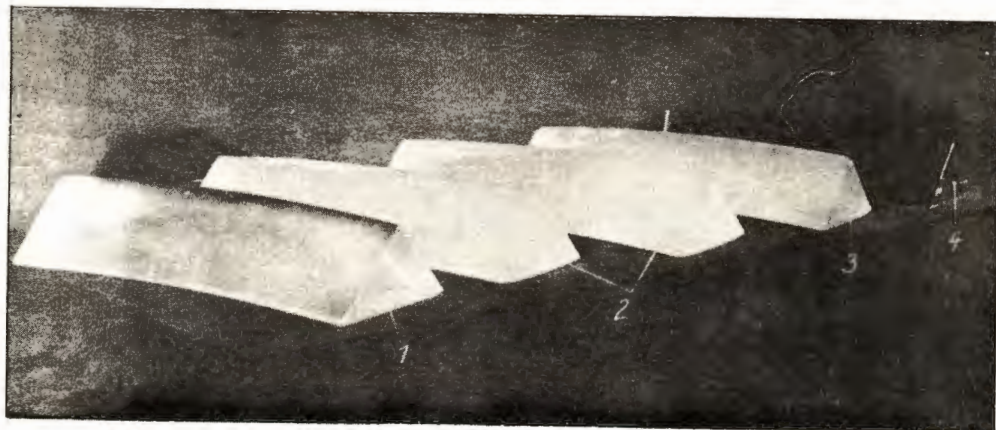


Рис. 14. Призматические элементы раstra в различных стадиях изготовления.

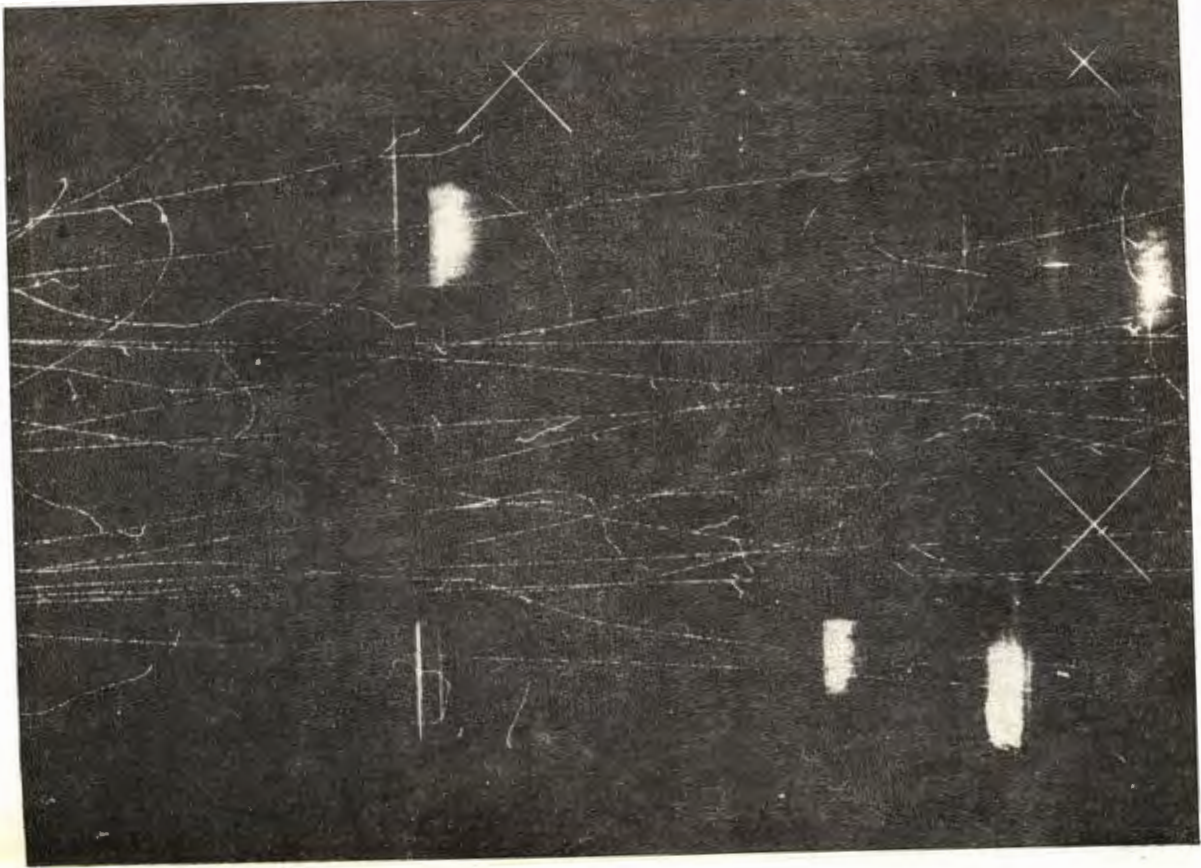


Рис. 15. Следы π^- -мезонов и электронов.

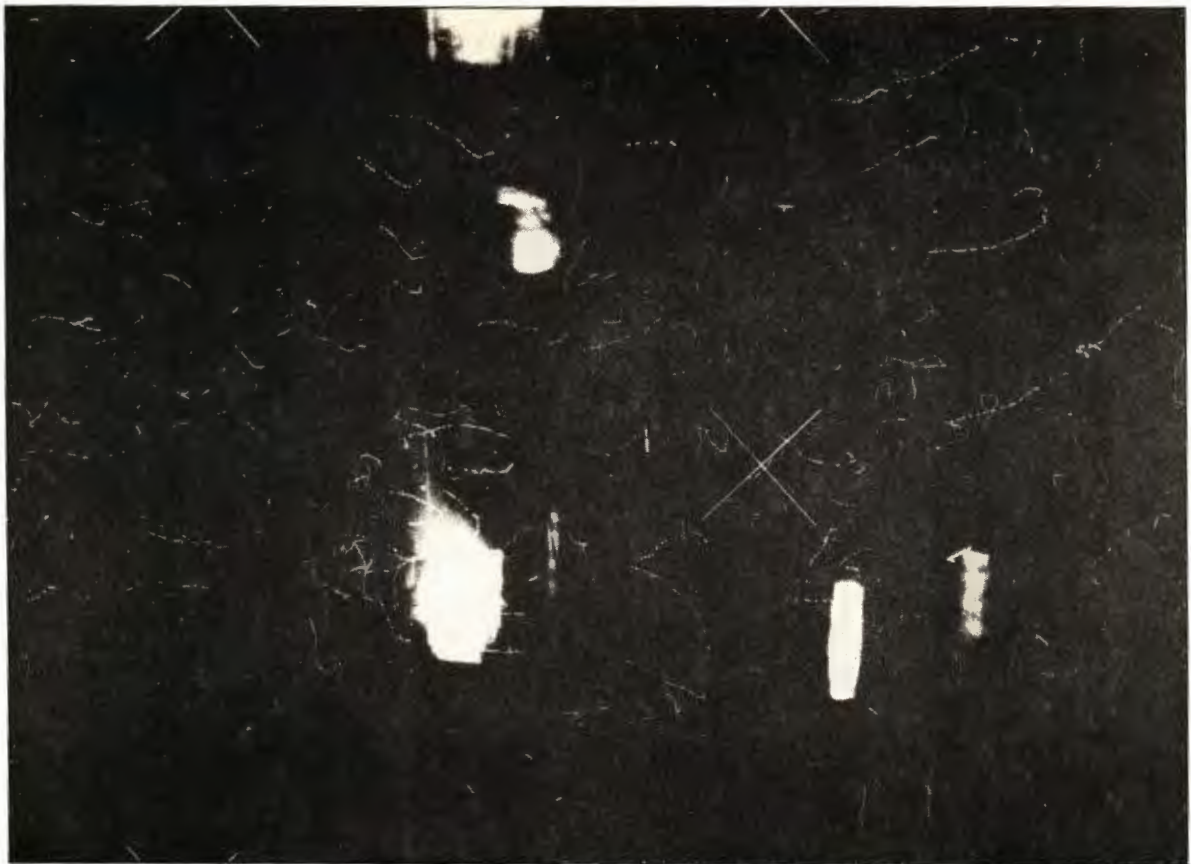


Рис. 16. Следы электронов от γ -источника.