

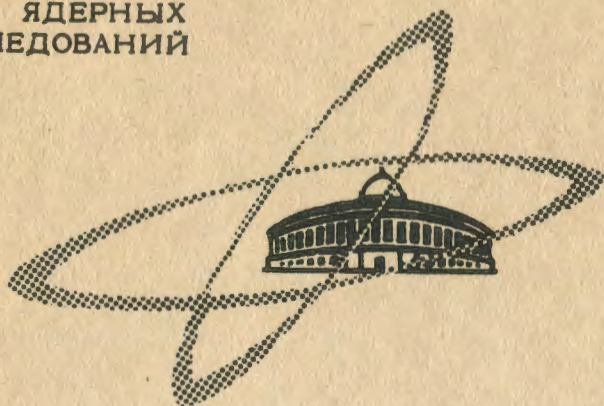
А-655

ПТЭ, 1967, №2, с. 206

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P - 2728



Е.М. Андреев, Г. Либман, Г.И. Селиванов

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОПТИЧЕСКИМ
ГОЛОВКАМ СТЕРЕОФОТОАППАРАТОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕРАХ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

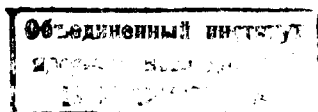
1966

P - 2728

Е.М. Андреев, Г. Либман, Г.И. Седыванов

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОПТИЧЕСКИМ
ГОЛОВКАМ СТЕРЕОФОТОАППАРАТОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕРАХ

Направлено в ПТЭ



Для восьмилитровой водородной пузырьковой камеры, предназначенной для проведения экспериментов на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ^{/1/}, был сконструирован специальный быстродействующий стереофотоаппарат, позволяющий с большой эффективностью использовать рабочее время ускорителя и камеры^{/2/}.

Стереофотоаппарат рассчитан под стандартную кинолентку шириной 35 мм. В нем применены объективы "Руссар-28" с фокусным расстоянием 70 мм. Величина стереобаза В составляет 237 мм. Чтобы облегчить обработку снимков как на стереорепринтере, так и на измерительных автоматах, оба стереокадра снимаются на одну и ту же пленку одновременно с реперными точками, соответствующими положению проекционных центров объективов. В целях упрощения процесса юстировки оптической системы стереофотоаппарата объективы и прижимные стекла, определяющие положение пленки при фотографировании и носящие реперные точки, выделены в отдельный конструктивный узел, так называемую оптическую головку (рис. 1).

Положение оптических осей объективов маркируется с помощью четырех юстировочных меток, нанесенных в виде перекрестий на прижимные стекла оптической головки. Достаточно четкое изображение меток на пленке получается при толщине штрихов 0,03 мм. Освещение их осуществляется с помощью миниатюрных ламп накаливания, смонтированных в тело оптической головки. Четыре перекрестия, нанесенные по краям кадра на каждом прижимном стекле, определяют направление двух ортогональных прямых, воображаемые точки пересечения которых соответствуют положению оптических центров соответствующих объективов. Совмещение этих центров с реперными точками достигается в процессе юстировки с помощью юстировочных винтов (3), дающих возможность передвигать объективы параллельно плоскости В - В (рис. 1).

В большинстве пузырьковых камер положение отдельного пузырька определяется с точностью до 0,05 мм^{/3/}. При масштабе фотографирования $\beta=0,1$, который является обычным для большинства существующих пузырьковых камер, ошибка в измерении координат на пленке не должна превышать 0,005 мм.

Если не принимать во внимание поправки, учитывающие наличие камерных стекол,

жидкого водорода и т.д., то формулы для пространственного восстановления треков имеют следующий вид ^{1/4/}:

$$X = \frac{Bx}{p}; \quad Y = \frac{By}{p}; \quad Z + a' = \frac{Bb'}{p}; \quad (1)$$

где X, Y, Z — координаты пузырька в камере; x, y — координаты его изображения на пленке (началом этих координат служит реперная точка на пленке); B — стереобаза; $Z + a'$ — расстояние от переднего проекционного центра объектива до плоскости, где расположен пузырек; b' — фокусное расстояние стереофотоаппарата (расстояние от заднего проекционного центра объектива до пленки) и p — параллакс. Если координаты x и y определяются с точностью до 0,005 мм, то, как легко видеть, относительная ошибка в определении базы B должна быть того же порядка:

$$\Delta B = B \frac{\Delta x}{x} \quad (2)$$

В нашем случае ΔB составляет 0,088 мм.

Для ясности дальнейших рассуждений отметим разницу между оптическими осями и визирными линиями. Оптические оси — это прямые, проходящие через главные и узловые точки объективов. Визирные линии фотоаппарата — это прямые, проходящие через реперные точки и задние проекционные центры объективов, т.е. через геометрические центры выходных лучей. В пространстве предметов эти прямые продолжают, беря свое начало от центров входных лучей. Начала координат x, y , а также X, Y расположены на визирных линиях.

Так как у объективов Р-29 положения входного и выходного лучей приблизительно совпадают с узловыми точками, то в нашем случае это дает основание рассматривать узловые точки как проекционные центры объективов.

Программы пространственного восстановления событий обычно исходят из точного знания положения визирных линий, которые должны быть строго параллельны друг другу и перпендикулярны стереобазе B (рис. 2). Чтобы ошибка при измерении координат на пленке не выходила за пределы $\Delta x = 0,005$ мм, отклонение визирных линий от параллельности не должно превышать

$$\phi_1 = \frac{\Delta x}{b'} \quad (3)$$

что для объективов Р-29 составляет 13,5'.

Для пространственного восстановления также важно знание точного значения стереобазы B в пространстве предметов. Однако при юстировке измеряется только база

$B + \Delta B$ в пространстве изображений. Ошибка ΔB возникает из-за наклона оптических осей. Как видно из рис. 2, максимально допустимый угол наклона равняется

$$\phi_2 = \frac{\Delta B}{2\delta} \quad (4)$$

где δ — расстояние между входным и выходным лучами. У объектива Р-29 δ равняется приблизительно 37 мм и ϕ_2 соответственно 3'.

Юстировка оптической головки начинается с тщательной подгонки прижимных стекол, которые закрепляются на поверхности $A-A$ головки (см. рис. 1). В связи с вышесказанным требование к параллельности этих плоскостей весьма высокое и определяется значением угла между ними ϕ_1 . В нашем случае величина ϕ_1 не выходит за пределы 8', что достигается тщательной доводкой опорных поверхностей.

Параллельность оптических осей визирным линиям задается посадочными плоскостями $B-B$. Угол между ними и плоскостями $A-A$ должен быть меньше ϕ_2 , что легко достигается для не очень больших значений δ .

Оптическая головка конструктивно выполняется таким образом, чтобы плоскости $A-A$ и $B-B$ были легко доступны для доводки их с помощью притиров.

Во избежание возможности возникновения внутренних напряжений и крутящих моментов в теле головки крепление головки к корпусу стереофотоаппарата осуществляется тремя винтами, расположенными в средней части головки.

Чтобы во время работы стереофотоаппарата не нарушалась параллельность визирных линий, оптическая головка должна иметь достаточную жесткость относительно поперечного изгиба. При выбранном сечении головки и величине усилия прижима пленки, равной 1 кг, угол изгиба составляет около 1". Это значение существенно меньше допустимого предела ϕ_1 . Таким образом, выбранное нами сечение является вполне достаточным.

Оптическая головка была изготовлена из дюралюминия. Выбор материала определяется желанием избежать воздействия на головку рассеянного магнитного поля, окружающего камеру, а также соображениями удобства обработки и легкости конструкции. Однако дюралюминий в высокой степени подвержен явлению старения. Вследствие этого с течением времени наблюдается самопроизвольный изгиб корпуса головки, который в нашем случае после годичного срока достиг величины 13". Последнее обстоятельство вызывает необходимость периодического повторения процесса юстировки.

Толщина прижимных стекол была выбрана равной 5 мм. При такой толщине стекол не происходит заметного их изгиба под действием давления прижатой пленки и почти полностью удается скомпенсировать оптическую дисторсию, вызванную влиянием смот-

ровых стекол. Крепление прижимных стекол подвижными рамками (рис. 1) оказалось вполне надежным. После получения с помощью этого устройства более 100000 рабочих снимков заметного нарушения юстировки не наблюдалось.

Допустимая клиновидность прижимных стекол ограничивается изменением масштаба фотографирования. Как видно из рис. 3, угол клина ϵ связан с ошибкой Δx в измерении x - координат. Из известных соотношений следует:

$$\epsilon = \frac{\Delta d}{x} = n b' \frac{\Delta x}{x^2}, \quad (5)$$

где n - показатель преломления прижимного стекла. В нашем случае предельно допустимый угол ϵ равняется $5''$. Однако крайне желательно, чтобы угол ϵ был меньше угла ϕ_1 . Тогда при юстировке оптической головки отпадает трудность, обусловленная различием положения автоколлимационных бликов, возникающих на обеих поверхностях прижимного стекла. Клиновидность прижимных стекол в нашем случае составляет $5''$.

Стерефотоаппарат предназначен для фотографирования объектов, расположенных на конечном расстоянии a'' от передних главных точек объективов. Однако для юстировки оптической головки используется коллимационная труба, установленная на бесконечность. Поэтому изображение коллиматорного креста объективом и реперная точка на прижимном стекле оказываются в различных плоскостях (рис. 4). Вследствие этого их одновременное наблюдение оказывается невозможным. Для перехода от одного изображения к другому необходима перефокусировка микроскопа. Последнее крайне неудобно, т.к. неизбежно возникают погрешности, связанные с неточным исполнением механических частей микроскопа. Устранение этой трудности возможно путем помещения на период юстировки специального корректирующего стекла между объективом фотоаппарата и прижимным стеклом. При этом реперная точка и коллиматорный крест оказываются одновременно резко видимыми.

Для толщины корректирующего стекла D получим, как видно из рис. 4,

$$(b' - D) + \frac{D}{n} = f' \quad \text{или}$$

$$D = \frac{n}{n-1} (b' - f'). \quad (6)$$

Так как наведение объективов на заданное расстояние фотографирования в процессе юстировки осуществляется с помощью корректирующих стекол, то отклонение их толщины D от точного значения приводит к перемещению плоскости наводки объективов. Из уравнения (6) имеем:

$$\Delta D = \frac{n}{n-1} \Delta b' = \frac{n}{n-1} \beta^2 \Delta a'. \quad (7)$$

Допуская $\Delta a' = \pm 5$ мм, для наших данных получим:

$$D = (20,4 \pm 0,1) \text{ мм.}$$

При этом клиновидность корректирующего стекла должна быть достаточно малой, чтобы не происходило существенного смещения изображения коллиматорного креста на прижимном стекле по отношению к положению реперных точек. Величина такого смещения может быть оценена следующим образом. Для призмы с малым углом ϵ между преломляющими поверхностями и приблизительно перпендикулярным падением света можно записать ^{/5/}:

$$\delta = (n-1)\epsilon, \quad (8)$$

где n - показатель преломления призмы и δ - угол отклонения светового луча. Если расстояние от призмы до прижимного стекла равняется l , то отклонение изображения коллиматорного креста составляет

$$\Delta x = l\delta = (n-1)l\epsilon. \quad (9)$$

Отсюда следует, что в нашем случае угол ϵ должен быть меньше $1''$.

Отклонение изображения коллиматорного креста от визирной линии может происходить также вследствие непараллельности корректирующего и прижимного стекол. Если угол между этими стеклами мал, то можно записать:

$$\Delta x = \frac{n-1}{n} D \alpha, \quad (10)$$

где n - показатель преломления корректирующего стекла, D - толщина его и α - угол между обоями стеклами. При условиях $\Delta x < 0,005$ мм, $D = 20,4$ мм и $n = 1,5$ следует, что угол α должен быть меньше $2,5'$.

Если поверхности корректирующего стекла не являются плоскими, а представляют собой сферы некоторого радиуса, то корректирующее стекло действует как линза и меняет фокусное расстояние объектива, в результате чего плоскость наводки не может быть установлена правильно. Как известно, для системы, состоящей из двух линз, можно написать:

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{f_p} = \frac{1}{f_o} + \frac{1}{f_k} = \frac{l'}{f_o f_k}, \quad (11)$$

где f_o и f_k - соответственно фокусные расстояния объектива и корректирующего стекла, l' - расстояние между ними и f_p - результирующее фокусное расстояние. Дифференцируя (11), получим:

$$f_k = \frac{f_o l'}{f_o} \frac{a'^2}{\Delta a'}. \quad (12)$$

Допуская, как и ранее, что $\Delta a' = + 5$ мм, для данной головки находим, что $[f_h] > 42$ м.
Реальная величина f_h в нашем случае составляет более 300 м.

Контрольные измерения, выполненные с готовой оптической головкой, показали, что все требования, предъявляемые к точности ее изготовления, были в достаточной мере удовлетворены.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность коллективу механических мастерских, возглавляемых К.А. Байчером, за тщательное изготовление отдельных узлов.

Л и т е р а т у р а

1. Т.Д. Блохищева, А.Т. Василенко, В.Г. Гребинник, В.А. Жуков, Г. Либман, Л.Л. Неменов, Г.И. Селиванов, Юань Жун-фан. ПТЭ, № 5, 51 (1982).
2. Г. Либман, В.А. Савельев, Г.И. Селиванов. Авторское свидетельство № 158197.
3. R.P. Shutt. Nucl. Instr., 20, 71 (1963).
4. Ван Ган-чан, Ван Цу-цзея, Дин Да-цао, Е.Н. Кладницкая, М.И. Соловьев. Материалы совещания по камерам Вильсона, диффузионным и пузырьковым камерам. Выпуск IV. Препринт ОИЯИ, 101, Дубна, 1959.
5. M. Born, E. Wolf. Principles of Optics. 1959, London.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 апреля 1986 г.

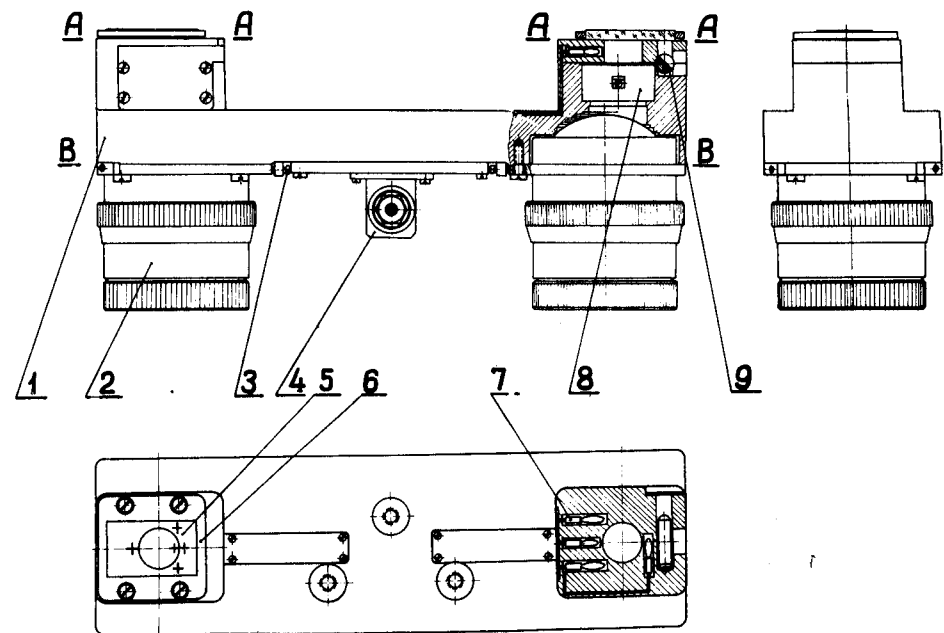


Рис. 1. Оптическая головка: 1-корпус; 2-объектив Р-20; 3-юстировочный винт; 4-герметизированный разъем для питания ламп подсвета; 5-прижимное стекло с юстировочными метками; 6-подвижная рамка для крепления прижимного стекла; 7-лампа для подсвета юстировочной метки; 8 - корригирующее стекло (снимается после юстировки); 9-подвижное зеркало для юстировки изображения приборного щита в кадровом окне.

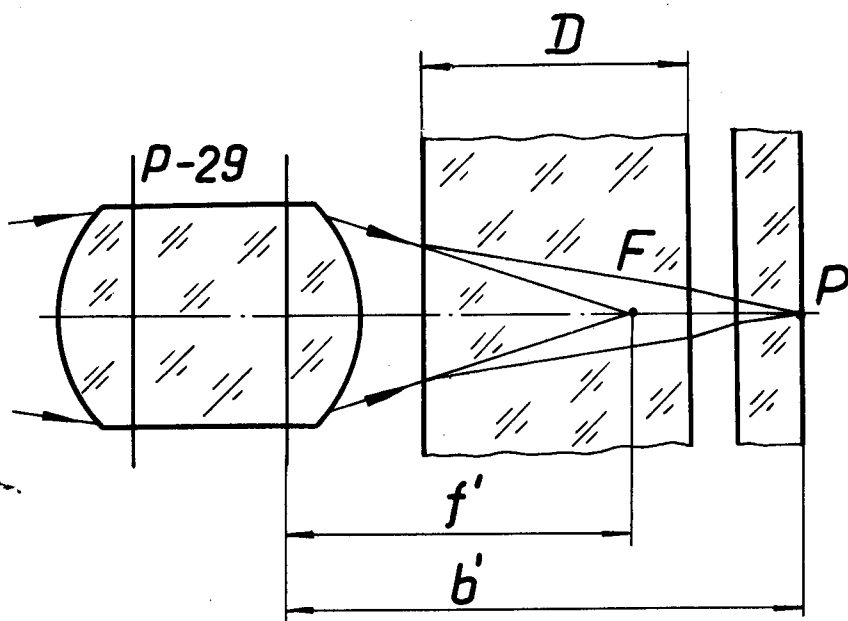


Рис. 4. Действие корректирующего стекла: F - задний фокус объектива P-29; P - реперная точка.