

С 344.1А

К-592

БЧ-2801

КОЗУДСКИЙ Э.В

+

БЧ-2801

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

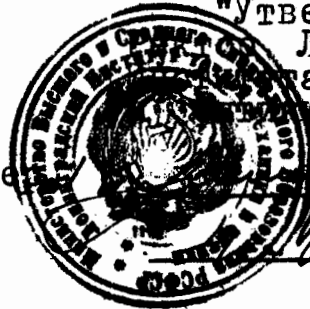
ЛЕНИНГРАДСКИЙ
ИНСТИТУТ
ТОЧНОЙ
МЕХАНИКИ И
ОПТИКИ

Л В Э

О К Б

"Утверждаю"
Директор Лаборатории
высоких энергий ОИЯИ
академик

"Утверждаю"
Ленинградского
Института точной механики
и оптики, профессор



[Signature] /В.И.Векслер/

1966г.

[Signature] /С.П.Митрофанов/

1966г.

Э.В.КОЗУБСКИЙ, Р.М.ЛЕБЕДЕВ и Э.М.ЛИВШИЦ.

ФОТОРЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ
КАМЕРЫ Л В Э О И Я И "ВК-4".

БЧ-2801

/ — /

с.р. 1451

22 VI 1966г.

Начальник научно-экспериментального
отдела ЛВЭ ОИЯИ, доктор ф.-м. наук

[Signature] /М.В.Чувило./

Заведующий проблемной лабораторией
ЛИТМО, доктор т. наук, профессор

[Signature] /М.М.Русинов./

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

г. ДУБНА

г. ЛЕНИНГРАД

1966г.

ЛВЭ ОИЯИ

ОКБ ЛИТМО



ФОТОРЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА ВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ЛВЭ ОИЯИ "ВК-4".

Раздел 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ КАМЕРЫ "ВК-4".

п.1. Исходные данные.

Одно из основных условий на проектирование водородной пузырьковой камеры "ВК-4" состояло в том, что эта камера должна размещаться в зазоре электромагнита ИК-3-4 или МС-12. Это условие по существу определило:

а/ габариты фотографируемого объема пузырьковой камеры, а именно 950 x 350 x 300 мм.

б/ выбор системы освещения, а именно автоколлимационную систему освещения камеры ВК-4

в/ высоту фотографирования камеры ВК-4, а именно $H \approx 1650$ мм.

п.2. Число стереоснимков.

Для восстановления пространственной картины, зафиксированной фотографическим способом, достаточно двух снимков, иначе одной стереопары снимков. Однако, при фотографировании линейных гладких объектов, расположенных под небольшим углом к линии базиса стереоскопи-

ческого фотографирования имеет место некоторая потеря точности определения пространственных координат объекта. Эта потеря точности обусловлена отчасти трудностью определения на стереоснимках двух точек, соответствующих одной пространственной точке, а отчасти тем фактом, что значения одной из координат точек этой линии будут малые и подчас сравнимые с ошибкой измерения.

След заряженной частицы в пузырьковой камере - линейный объект с нечетко выраженной структурой вследствие недостаточной разрешающей способности. По этой причине, во многих пузырьковых камерах начали практиковать фотографирование объема на три или четыре снимка.

Известно несколько фотоаппаратов пузырьковых камер в которых регистрация событий производится на три стереоснимка. Обычно, в этих фотоаппаратах производится фотографирование на одну пленку, при этом плоскость пленки /плоскость кадров/ располагается параллельно направлению фотографирования, т.е. параллельно оптическим осям трех фотографических объективов. Подобное расположение пленки в фотографическом аппарате имеет ряд неудобств, а именно:

а/ в пространство изображения фотографической камеры дополнительно вводится отражающая плоскость, что прежде всего приводит к усложнению юстировочных работ;

б/ расположение всех стереокадров /более двух/ на одной пленке неудобно для просмотра, так как влечет необходимость либо фотокопирования снимков, либо разрезания пленки, либо создания специфичной проекционной /просмотровой/ аппаратуры.

Исторически сложилось так, что в ЛВЭ преимущественно применяется фотографирование с размещением стереоснимков на отдельных пленках. По этой причине, в силу традиции, и для метровой водородной пузырьковой камеры ВК-4 было решено применить фотографирование на две пленки.

Три стереокадра на двух пленках требуют использования двух лентопротяжных механизмов: одного с протяжкой на один кадр и другого с протяжкой на два кадра. Этот вариант влечет усложнение конструкции фотоаппарата.

Возможен иной вариант: четыре кадра на двух пленках. В этом случае, оба лентопротяжных механизма идентичны, но расход пленки возрастает на $1/3$.

Для фотографирования камеры ВК-4 был принят именно этот вариант: четыре кадра - стереоквартет - на двух пленках.

При этом дополнительным соображением в пользу сделанного выбора послужило следующее: для каждого кадра определенная область фотографируемого объема экранируется бликом источника света от защитных стекл-иллюминаторов камеры, поэтому необходимо иметь возможность выбора такой стереопары кадров, на которой интересующее нас событие было бы изображено полностью и расположено было бы благоприятным образом. Очевидно,

что при трех кадрах возможно совпадение двух неприятностей: неблагоприятное расположение следа относительно базиса фотографирования и экранировка части события бликом.

При четырех стереокадрах возможность выбора благоприятной стереопары снимков в два раза выше, чем в случае трех кадров: шесть стереопар вместо трех.

Дополнительным и очень важным аргументом в пользу четырех снимков служит то обстоятельство, что в этом случае задача размещения пластин в рабочем объеме камеры без мертвых зон /нефотографируемых/ решается гораздо проще, нежели в случае фотографирования на три кадра.

п.3. Ширина пленки.

К моменту выбора пленки для камеры ВК-4 /1961г./ в СССР серийно выпускались перфорированные пленки шириной 35 и 80 мм. Кроме того, в ЛВЭ применялась нестандартная пленка шириной 63 мм., изготавливаемая в ЛВЭ из стандартной пленки шириной 190 мм.

Применение перфорированной пленки шириной 35мм для камеры ВК-4 исключалось тем, что в этом случае максимально возможный масштаб фотографирования составлял бы $24/400 \sim 1/16,6$. Если же ввести поля между кадром и перфорацией, то реальный масштаб фотографирования стал бы еще меньше $\sim 1/20$. Известно, что оптимальный масштаб фотографирования камер лежит в интервале $1/10 \div$
~~1/12~~ $1/15$.

Таким образом, вопрос о выборе пленки свелся к альтернативе: 63 мм или 80 мм. Применение пленки

шириной 63мм сулило более экономное её расходование; пленка шириной 80мм - стандартная. Последнее обстоятельство явилось решающим и для фотографирования камеры ВК-4 была выбрана перфорированная пленка шириной 80мм.

Применение более широкой пленки предпочтительно по двум соображениям:

- а/ для снимка не используется наиболее деформируемая часть пленки /в окрестности перфорации/;
- б/ возможно использование полей между снимком и перфорацией для впечатывания служебной информации.

п.4. Объективы.

Хорошо известно, что наилучшее качество фотоснимков достигается посредством объективов, специально рассчитанных для данных конкретных условий фотографирования. Разработка и изготовление специальных объективов обычно требует 2-х - 3-ех лет. Создание камеры ВК-4 планировалось в максимально короткие сроки. По этой причине было решено применить в камере ВК-4 готовые объективы.

Исходными данными для выбора объективов явились требования:

- а/ масштаб фотографирования $\sim 1/10$
- б/ высота фотографирования ~ 1500 мм.
- в/ угол поля зрения объективов $2\beta \sim 60^\circ$.

Отсюда следует, что фокусное расстояние объективов должно быть около 150 мм.

Для фотографирования камеры ВК-4 по рекомендации профессора Русинова М.М. были выбраны объективы "Руссар-Плазмат 2Т" с фокусным расстоянием 150 мм. и уг-

лом поля зрения $2\beta = 64^\circ$.

п.5. Стекла-иллюминаторы.

С целью устранения влияния оптических неоднородностей жидкого водорода на ход световых лучей в промежутке между фотографируемым объемом и объективами, было решено осуществить камеру ВК-4 с большим стеклом-иллюминатором, ограничивающим фотографируемый объем камеры по переднему плану фотографируемого объема.

В камере ВК-4 фотографирование рабочего объема осуществлено через три плоскопараллельных оптических стекла:

- а/ стекло-иллюминатор корпуса камеры
- б/ стекло-иллюминатор вакуумного кожуха камеры
- в/ аварийное стекло-иллюминатор, размещаемое между двумя указанными выше стеклами.

Аварийное стекло предусмотрено с целью предохранения стекла-иллюминатора вакуумного кожуха от брызг жидкого водорода в случае разрушения стекла-иллюминатора корпуса камеры.

В таблице 1 представлены сведения о средах, размещенных в камере ВК-4 между объективами и задним планом фотографирования: толщины, показатели преломления и толщины, редуцированные к воздуху.

Конструктивно, в камере ВК-4 вполне было бы возможно осуществить стекло-иллюминатор вакуумного кожуха либо в виде ряда стекол небольшого размера, устанавливаемых перед объективами и коллективом осветителя, либо в виде единого большого стекла-иллюминатора. Для камеры ВК-4 был выбран второй вариант - единое стекло - по нижеследующим соображениям.

Таблица 1.

ОПТИЧЕСКИЕ СРЕДЫ КАМЕРЫ ВК-4 /в пространстве объекта/

фотообъективы					
среда	показатель преломления n	толщина в мм. d	сумма толщин $\sum d$	приведенная толщина d/n	сумма пр. тол. $\sum d/n$
воздух	1,00	80	80	80	80
стекло К-8	1,5163	50	130	32,98	112,98
вакуум	1,00	85	215	85	197,98
стекло К-8	1,5163	102,26	317,26	67,44	265,42
вакуум	1,00	1116,13	1433,39	1116,13	1381,55
стекло К-8	1,5163	102,26	1535,65	67,44	1448,99
жидкий водород	1,092	137,6	1673,25	126,01	1575,00
плоскость наведения					
жидкий водород	1,092	162,4	1835,65	148,8	1723,8
растр - дно рабочего объема камеры - задний план					

Все реальные стекла-иллюминаторы имеют какое-то отклонение от плоскопараллельности - клиновидны. В реальных условиях взаимная ориентация стекол-иллюминаторов и главных направлений фотографирования осуществляется с некоторым допуском. По этой причине следует считать, что главные направления фотографирования при прохождении через наклонную плоскопараллельную пластинку претерпевают параллельный сдвиг на величину Δ , а при прохождении через клиновидную пластинку - претерпевают смещение на угол γ . Δ и γ в предположении малых углов наклона и клиновидности имеют вид

$$\Delta = d \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \approx \frac{d}{n} (n-1) \alpha \quad / 11 /$$

$$\gamma = (n-1) \varepsilon \quad / 12 /$$

где d - толщина пластинки

n - показатель преломления стекла

α - угол наклона плоскопараллельной пластинки -
угол падения

β - угол преломления

ε - угол между гранями стекла-иллюминатора.

В случае камеры ВК-4, например, наклон стекол на 20 секунд приведет к смещению главных направлений на 0,01мм; такое же смещение положений главных направлений фотографирования в плоскости наведения /точек надира/ вызовет клиновидность стекла-иллюминатора вакуумного кожуха всего в 3 секунды.

Если перед объективами фотоаппарата стоит единое стекло-иллюминатор, то смещения всех четырех главных направлений фотографирования в плоскости наведения /точек надира/ как за счет наклона этого стекла, так и за счет его клиновидности, окажутся равными по абсолютной величине и направлению. Если же перед каждым объективом будет стоять отдельное стекло-иллюминатор то все четыре точки надира получат смещения разные и по абсолютной величине и по направлению, т.е. изменятся базисные расстояния между точками надира, между проекциями главных направлений фотографирования на плоскость наведения в камере ВК-4.

Из изложенного следует серьезное преимущество единого стекла-иллюминатора по сравнению с несколькими независимыми стеклами-иллюминаторами.

п.6. Масштаб фотографирования.

Масштаб фотографирования m_H камеры ВК-4 для плоскости наведения при заданных значениях высоты фотографирования H и фокусного расстояния съемочного объектива f_{ov} определяется однозначно:

$$m_H = \frac{f_{ov}}{H - f_{ov}} = \frac{150}{1575 - 150} = 1/9,5 \quad / \quad 3 \quad /$$

Вопрос об оптимальном значении масштаба фотографирования камеры ВК-4 остался открытым ввиду сложности учета соответствующих факторов. Однако, выбранное значение масштаба фотографирования для камеры ВК-4 лежит в интервале значений масштабов фотографирования, применяемых в мировой практике, и располагается ближе к крупным значениям масштаба фотографирования.

Под оптимальным значением масштаба фотографирования понимается такое значение, при котором достигается компромисс таких требований, как, например:

а/ стремление к улучшению разрешения на пленке пузырьков и интервалов между ними наименьшего размера, т.е. стремление к фотографированию следов в наиболее ранней стадии их роста;

б/ стремление к повышению точности восстановления пространственной модели следа частицы;

Эти тенденции влекут увеличение масштаба фотографирования. Но этим тенденциям противостоят

в/ необходимость увеличения яркости и размеров источника света при сокращении длительности световой вспышки;

г/ необходимость повышения требований к снижению фона засветки, чистоте камеры;

д/ стоимость пленки;.

Необходимо заметить, что прогресс качества пленок /повышение разрешающей способности и чувствительности/ и снижение их стоимости, а также достижения в разработке более совершенных источников света могут сдвинуть значение оптимального масштаба фотографирования только в сторону более крупных масштабов. С этой точки зрения, выбор более крупного масштаба фотографирования предпочтителен ввиду указанной перспективы.

П.7. Компенсация дисторсии.

Рабочий объем пузырьковой камеры ВК-4 отделен от фотоаппарата тремя плоскопараллельными стеклами с суммарной толщиной около 250 мм.

п.8. Базис фотосъемки.

Обычно, в известных камерах базис фотосъемки не превышает размера ширины камеры. Это обусловлено тем, что при этом обеспечивается полное фотографирование рабочего объема камеры на каждый снимок. Исключение представляет 24-ех литровая пропановая камера ЛВЭ ОИЯИ / 1 /, фотографирование в которой осуществляется с базисом 300 мм., в то время как ширина камеры составляет 280мм. Это обстоятельство связано с тем, что для фотографирования указанной камеры был применен готовый фотоаппарат.

В случае, когда базис фотографирования больше ширины камеры, имеет место экранировка части фотографируемого объема, прилегающей к соответствующей боковой стенке.

Для фотографирования камеры ВК-4 выбран базис фотосъемки $B=500\text{мм}$ больший чем ширина камеры 350мм. Этот выбор был обусловлен, главным образом, резервированием возможности устранения блика источника света от стекла-иллюминатора камеры в случае применения для освещения камеры астигматического потока света, параллельного в сечении перпендикулярном длине /наибольшему размеру/ камеры и гомоцентричного в ~~другом~~ сечении параллельном длине камеры $\frac{1}{2}$ /. Кроме этого, имеются ещё два дополнительных соображения в пользу сделанного выбора соотношения ширины камеры и базиса фотосъемки:

а/ увеличение базиса фотосъемки увеличивает отношение B/H базиса к высоте фот^осъемки, т.е. влечет повышение точности измерения глубинной координаты;

б/ относительная точность измерения координат вблизи оптической оси объектива ухудшается по мере при-

ближения этих точек к оси объектива, так как величина ошибки измерения и измеряемая величина оказываются сравнимыми; в случае, когда базис фотосъемки больше ширины камеры указанные области плохой относительной точности измерения координат автоматически исключаются.

Величина экранируемой для одного кадра области рабочего объема камеры /по дну/ составляет для камеры ВК-4:

$$\frac{1}{2} \frac{500 - 350}{1575 - 126} \cdot 275 = 14 \text{ мм.}$$

Второй продольный базис фотосъемки выбран равным 310 мм. по чисто конструктивным соображениям.

Итак, было решено осуществить ⁰фотграфирование камеры ВК-4 четырьмя фотокамерами, расположенными в вершинах базисного прямоугольника со сторонами 500 и 310 мм. и ориентированными так, что наибольший базис фотосъемки перпендикулярен наибольшему размеру рабочего объема камеры.

В дополнение следует заметить, что и в случае освещения камеры стигматическим пучком света более выгодно максимальное значение поперечного базиса фотографирования, так как с увеличением базиса фотографирования блики источника света от стекол-иллюминаторов камеры сдвигаются из центральной части камеры /и соответственно, кадра/ на край. Это относится к тому случаю, когда поверхности стекол ортогональны главным направлениям фотографирования и не применены какие-либо иные способы устранения бликов.

п.9. Взаимное расположение фотоаппарата, осветителя и стекол-иллюминаторов камеры ВК-4.

При освещении камеры точечным или шарообразным источником света целесообразно располагать сам источник или его изображение в плоскости входных зрачков фотообъективов и в центре между ними. При таком расположении достигается минимальная разность углов между направлением от пузырька на осветитель и направлением от пузырька во входной зрачок фотообъектива, т.е. достигается более равномерное освещение камеры по объему.

По изложенным соображениям было принято решение расположить в камере ВК-4 коллектив, в плоскости которого строятся изображения трех источников света, в плоскости входных зрачков объективов и на пересечении диагоналей базисного прямоугольника.

Обычно, в камерах с верхним расположением стекла-иллюминатора, принято наклонное расположение главного стекла-иллюминатора. Наклоном стекла-иллюминатора достигается:

а/ устранение для одной пары объективов /полное или частичное/ блика источника света от стекла-иллюминатора камеры;

б/ смещение парового пузырька из центральной области на край рабочего объема.

В случае геометрии камеры ВК-4 для полного устранения блика источника света необходим наклон стекла-иллюминатора на угол

$$\alpha = \arctg \frac{B/4 + U/2}{F_c} \quad / 4 /$$

где $B_1 = 500$ мм - базисе фотографирования

$u = 350$ мм - ширина камеры

$H_c = 1350$ мм - расстояние от источника света до
стекла-иллюминатора /редуцированное/.

Схема взаимного расположения объективов стереопары O_1 и O_2 , источника света S' и стекла-иллюминатора камеры представлена на рисунке 1. Как видно из рисунка, стекло сдвинуто вбок, что адекватно наклону стекла; при этом луч света из источника света после отражения от края стекла-иллюминатора в точке M касается объектива O_1 . Это крайнее положение хода луча.

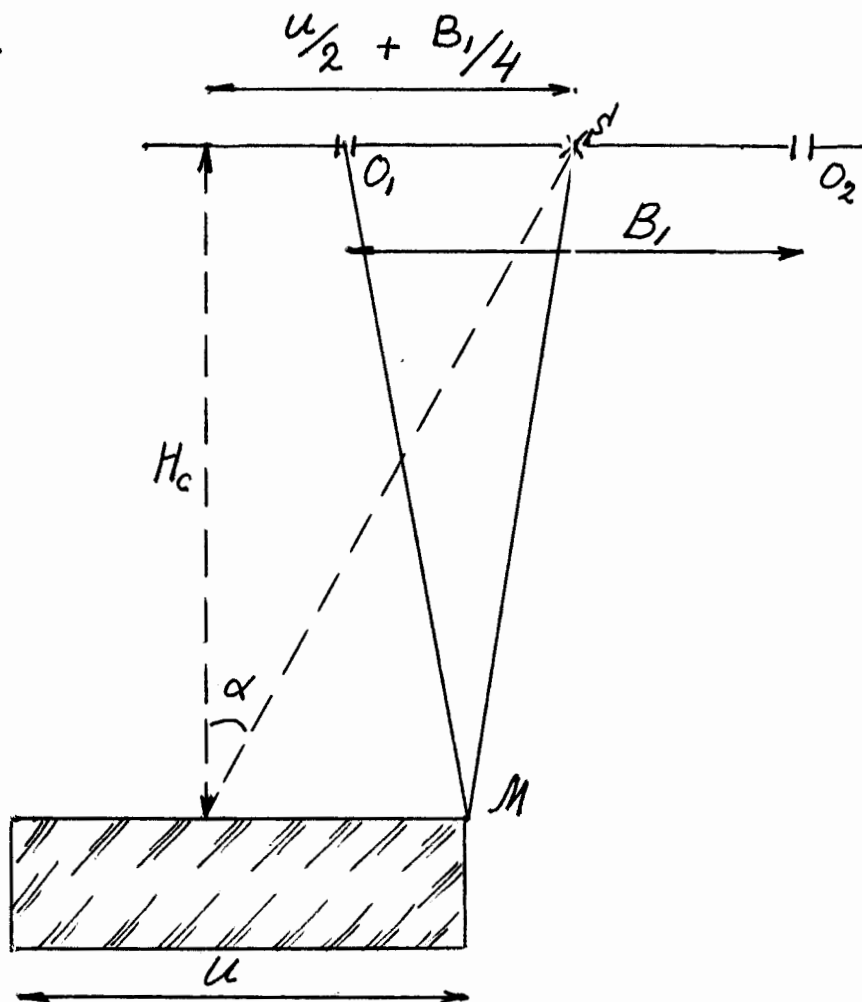


Рисунок 1.

Из /4/ легко видеть, что уменьшение угла наклона стекла для устранения блика может быть достигнуто уменьшением величины базиса фотографирования, но это нежелательно ввиду ухудшения точности определения глубинной координаты.

Подставляя численные значения в формулу /4/ находим $\alpha = \arctg 0,222 \approx 12^\circ 30'$. Наклон стекла-иллюминатора на такой большой угол - серьезное усложнение конструкции камеры. По этой причине в камере ВК-4, было решено вовсе отказаться от наклона главного стекла-иллюминатора.

Главные направления фотографирования /оптические оси объективов/ целесообразно ориентировать ортогонально плоскостям стекла-иллюминатора и, соответственно, границе раздела сред стекло-водород, с тем чтобы избежать несимметричной ~~дисторсии~~ дисторсии в плоскости изображения.

В связи с изложенными соображениями было принято решение:

а/ ориентировать главные направления фотографирования ортогонально плоскостям стекла-иллюминатора камеры;

б/ стекло-иллюминатор в корпусе камеры разместить без наклона;

в/ для устранения пузыря под стеклом-иллюминатором наклонить всю камеру целиком совместно с магнитом на $2^\circ - 3^\circ$ градуса относительно горизонтальной плоскости с поворотом относительно направления пучка частиц;

г/ блики вывести из центральной зоны камеры посредством увеличения базиса фотографирования и использовать маски для ослабления этих бликов.

п.10. Реперные марки. Взаимная ориентация.

Восстановление пространственной геометрии следа заряженной частицы в пузырьковой камере базируется на а/ знании параметров фотограмметрических камер /фокусное расстояние камеры, координаты главных точек, ~~д~~ дистррсия/;

б/ знании координат элементов внутреннего ориентирования /реперных марок фотограмметрических камер/;

в/ либо точном знании расположения границ раздела всех сред в пространстве объекта и показателей преломления этих сред, либо точном знании расположения элементов внешнего ориентирования - реперных марок объекта;

г/ знании взаимного расположения фотограмметрических камер.

В реальной установке очень трудно обеспечить с необходимой точностью толщины сред и ~~их~~ взаимное расположение их границ раздела. По этой причине очень важно иметь в рабочем объеме пузырьковой камеры реперные марки, взаимное расположение которых известно с необходимой точностью, так как по известным координатам реперных марок объекта можно откорректировать формулы вычисления пространственных координат.

Вследствие вышеизложенного было решено осуществить в пузырьковой камере ВК-4:

а/ реперные марки пространства объекта - на главном стекле-иллюминаторе корпуса камеры /в плоскости граничащей с водородом/ и на дне камеры, на элементах раstra /контрольные реперы/;

б/ реперные марки пространства изображения - на выравнивающих стеклах фотограмметрических камер;

в/ ~~жесткую~~ жесткую фиксацию взаимного расположения четырех фотограмметрических камер посредством литой плиты;

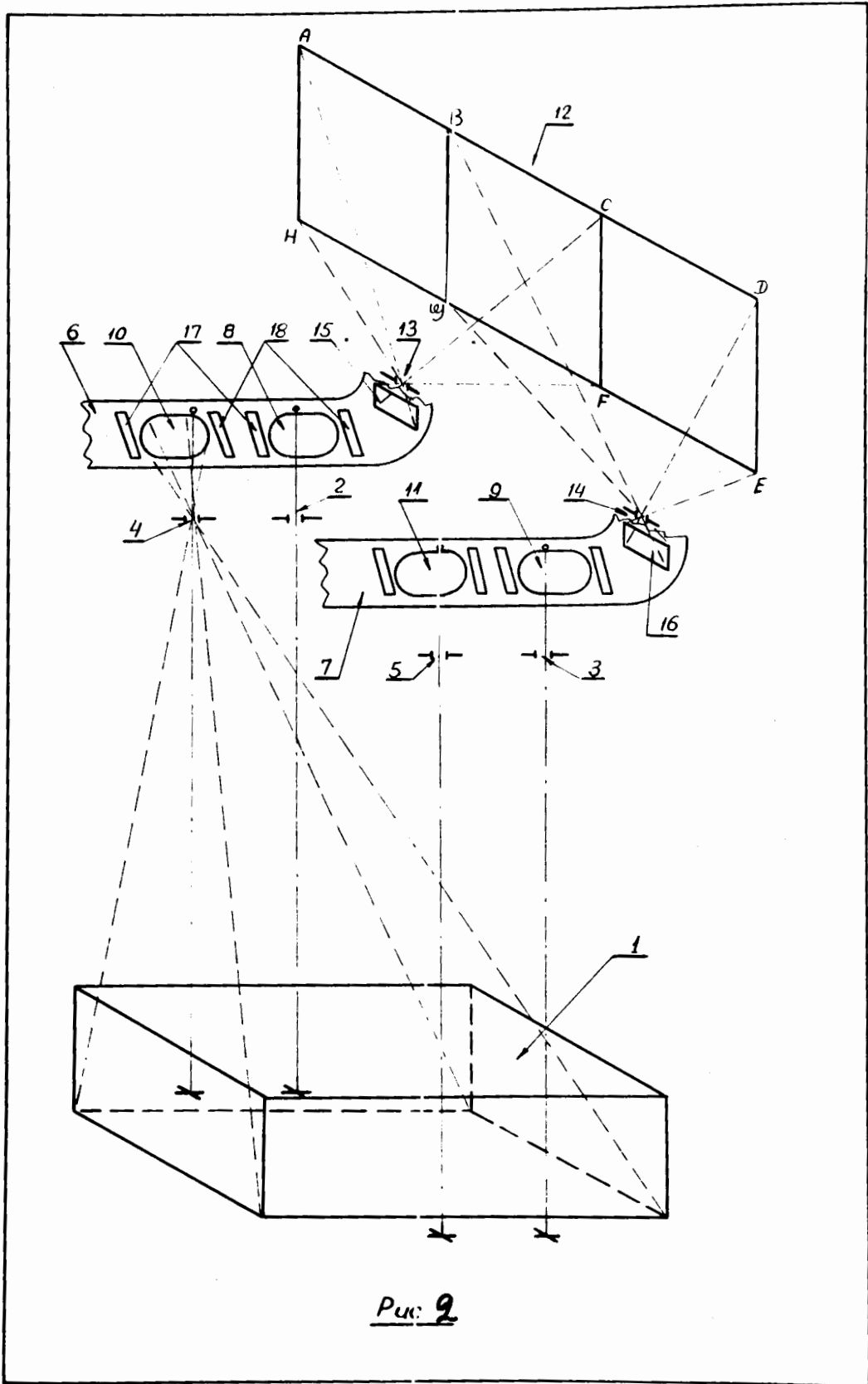
г/ параллельность главных направлений фотографирования /оптических осей четырех фотограмметрических камер/ за счет допусков на обработку посадочных поверхностей литой плиты.

п.11. Маркировка кадров.

В том случае, когда осуществляется фотографирование стереокадров на две или более пленок, очень важно обеспечить надежную нумерацию кадров. Из практики эксплуатации других установок ЛВЭ было выявлено, что надежная нумерация может быть обеспечена в том случае, когда на обе пленки впечатываются показания одного и того же счетчика. Применение параллельных счетчиков как правило влечет частые сбои без самовосстановления правильных показаний. Если впечатываются показания одного счетчика, то в этом случае могут быть только локальные нарушения нумерации, но эти нарушения фиксируются на ~~обеих~~ пленках и потому не затрудняют поиска стереопар.

Вследствие вышеизложенных соображений было решено осуществить на камере ВК-4 фотографирование показаний одного счетчика одновременно на обе пленки.

Помимо номера кадра было признано целесообразным впечатывать на пленки информацию об условиях получения снимков с тем, чтобы избежать необходимости вести тщательные журнальные записи, ~~например~~ например, следующую информацию:



- а/ дата
- б/ время
- в/ номер опыта, облучения
- г/ наименование установки
- д/ импульс первичной частицы
- е/ напряженность магнитного поля
- ж/ давление в камере
- и/ температура в камере
- к/ номер пленки
- л/ фамилия дежурного.

Было решено разместить всю вышеперечисленную информацию на специальном приборном маркировочном щите /см. рис. 2/ и осуществить фотографирование этого щита на те же пленки посредством дополнительных объективов, снабженных фотозатворами. Имелось в виду, что часть щита, примерно $1/3$, с часами и счетчиком кадров, фотографируемая на обе пленки, обеспечит надежность отбора стереопар. Остальные две трети щита было решено фотографировать отдельно; с целью более рационального использования пленки.

п.12. Схема фотографирования камеры ВК-4.

Избранная для камеры ВК-4 схема фотографирования представлена на рис. 2. Здесь изображено:

- 1 - рабочий объем камеры ВК-4
- 2,3,4,5 - основные четыре объектива
- 6,7 - две пленки
- 8,9,10,11 - четыре изображения объема камеры на пленках 6 и 7 - стереоквартет
- 12 - маркировочный приборный щит

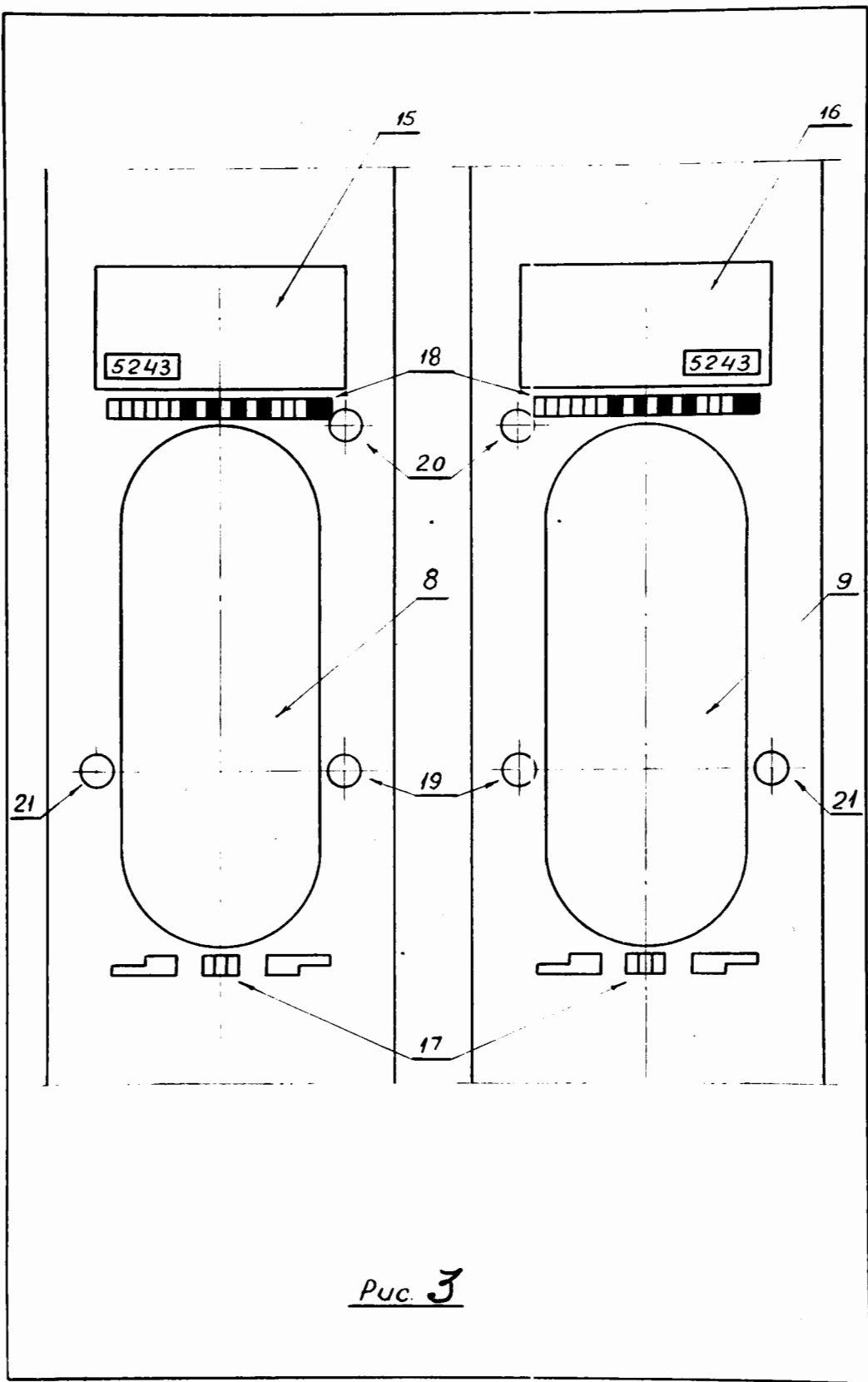


Рис. 3

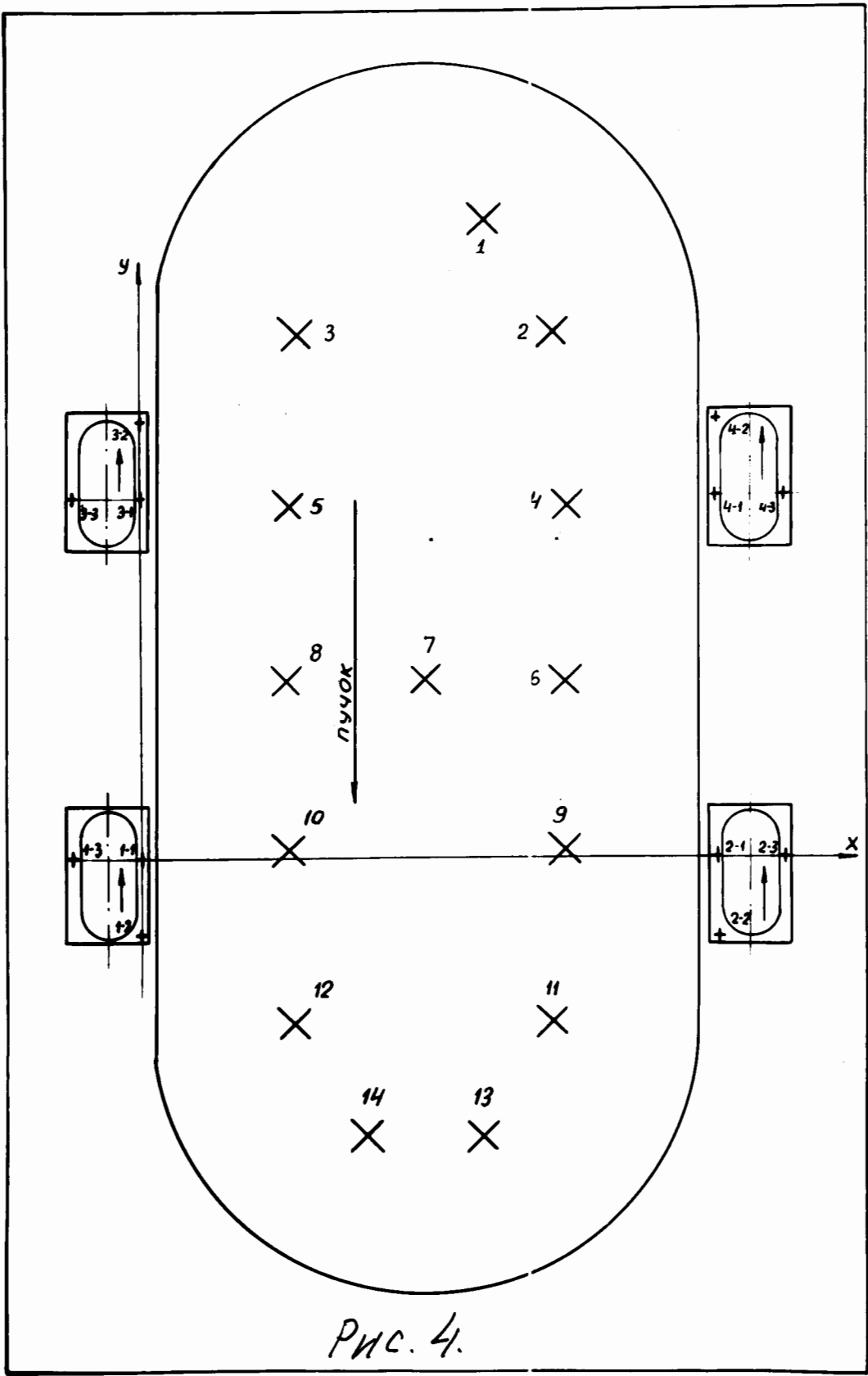


Рис. 4.

13,14 - дополнительные объективы, предназначенные для фотографирования щита 12

15 - изображение на пленке 6 части АВСFУ Н щита 12

16 - изображение на пленке 7 части ВСДЕFУ щита 12

Расположение информации на пленках представлено на рис.3.

17 - месторасположения стоп-марок

18 - месторасположения номера кадра в двоично-позиционном коде

19 - главный реперный крест внутреннего ориентирования - указатель главной точки снимка - точки прохождения оптической оси объектива

20 и 21 - реперные кресты внутреннего ориентирования.

Взаимное расположение главного стекла-иллюминатора камеры ВК-4 с 14-ью реперными крестами внешнего ориентирования и четырех выравнивающих /кадровых/ стекол фотоаппарата камеры ВК-4 в плане представлено на рис. 4. Здесь, на рис. 4. главные реперные кресты внутреннего ориентирования обозначены как 1-1, 2-1, 3-1 и 4-1, причем 1,2,3 и 4 - это номера объективов, также впечатываемые на пленку.

II.13. Эксплуатационные требования к конструкции стереоскопического фотоаппарата СФК-ВК-4.

1. Работа в рассеянном поле магнита напряженностью 500 ~~э~~ 1000 эрстед.

2. Габаритные ограничения.

3. Управление работой СФК-ВК-4 дистанционное с электронного пульта управления.

4. Интервал между снимками - 12сек. при нормальной работе и 6 сек. при наладке.

5. Работа во взрывоопасных условиях.
6. Сигнализация о нормальной работе и аварийном состоянии.
7. Минимальные затраты времени на перезарядку.
8. Емкость кассет - 300 метров.
9. Дублирование узлов СФК-ВК-4 с целью быстрого устранения неисправностей во время работы.

п.14. Примечания.

Соображения, изложенные в настоящем отчете, послужили основой для составления задания на разработку стереоскопического фотоаппарата для камеры ВК-4.

В дополнениях к настоящему отчету, составленных одним из нас +/, содержатся оценки влияния некоторых величин на качество фотографической системы.

Заключение.

В процессе подготовки технического задания на разработку стереофотограмметрической аппаратуры для камеры ВК-4, авторы широко пользовались советами различных лиц, которым они очень благодарны. Особенно нам приятно выразить свою признательность за совместные обсуждения ряда вопросов профессору М.М.Русинову, И.В.Чувилу, М.Малы, Г.М.Сташкову, В.М.Горбункову и В.В.Хваловскому.

Козубский Э.В.Козубский
Лебедев - Р.М.Лебедев
Лившиц Э.М.Лившиц

Д О П О Л Н Е Н И Я.

п.15. Оценка толщины стекол-иллюминаторов
камеры ВК-4.

К сожалению, надежные данные о пределах допустимых нагрузок для оптических стекол марок К-8 и ЛК-7 неизвестны. Известно лишь, что допустимое напряжение на изгиб для всех стекол лежит в интервале 250 - 500 кг/см².

Обычно, на практике, при расчетах толщин стекол-иллюминаторов камер в качестве исходных данных берут наименьшее значение допустимого напряжения на изгиб и коэффициент запаса прочности $n = 4 - 5$.

Расчет максимального напряжения на изгиб стекол-иллюминаторов можно произвести, например, по формулам для толстых пластин прямоугольной формы, а именно для случая, когда все края защемлены

$$\max \sigma = \frac{0,5 P}{1 + 0,623 \alpha^6} \left(\frac{b}{\rho} \right)^2; \quad \alpha = \frac{b}{a} \quad 15/$$

и для случая, когда все края оперты

$$\max \sigma = \frac{0,75 P}{1 + 1,61 \alpha^3} \left(\frac{b}{\rho} \right)^2; \quad \alpha = \frac{b}{a} \quad 16/$$

Здесь, σ - напряжение на изгиб

P - давление на пластинку в кг/см²

b - наименьшая сторона пластины

a - наибольшая сторона пластины

ρ - толщина пластины.

В действительности, реальные максимальные напряжения будут несколько меньше, так как форма стекол-иллюминаторов не прямоугольная, а овальная.

В таблицах II и III представлены результаты расчетов максимальных напряжений на изгиб для стекол-иллюминаторов камеры ЗК-4 и для стекла камеры Альвареца.

ТАБЛИЦА II
/все края заземлены/

	стекло-иллюминатор корпуса камеры		стекло вакуумного кожуха	стекло камеры Альвареца
a /мм/	1060	1000	630	1860
b /мм/	460	400	530	560
α	0,43	0,40	0,84	0,30
ρ /мм/	100	100	100	125
p /кг/см ² /	6	6	6	6
$\frac{0,5}{1 + 0,623 \alpha^2}$	0,495	0,496	0,400	0,499
G /кг/см ² /	63,3	47,6	67,5	60,6

ТАБЛИЦА III
/все края оперты/

	стекло-иллюминатор корпуса камеры		стекло вакуумного кожуха	стекло камеры Альвареца
a /мм/	1060	1000	630	1860
b /мм/	460	400	530	560
α	0,43	0,40	0,84	0,30
ρ /мм/	100	100	100	125
p /кг/см ² /	6	6	6	6
$\frac{0,75}{1 + 1,61 \alpha^3}$	0,66	0,68	0,68	0,72
B/ρ	4,6	4,0	5,3	4,5
G /кг/см ² /	85	65,3	65	87

Таким образом, из таблиц I и III видно, что стекло-иллюминаторы камеры ВК-4 имеют 4-ех кратный запас прочности при наименьшем значении допустимого напряжения на изгиб, в случае прямоугольной формы и если условия на краю соответствуют опоре, а не заземлению. При этом, максимальное значение напряжения у стекол камеры ВК-4 несколько меньше, чем у стекла-иллюминатора камеры Альвареца.

п.16. Положение плоскости наведения.

Обычно, положение плоскости наведения /фокусировки/ выбирают таким образом, чтобы геометрические кружки рассеяния от переднего и заднего планов были бы равны.

При определении положения плоскости наведения камеры ВК-4 был применен именно этот критерий.

Задано:

Расстояние объектива от заднего плана - u_3

Расстояние объектива от переднего плана - u_n

Фокусное расстояние объектива - $f_{ог}$

Требуется найти:

Расстояние объектива от плоскости наведения - u

Применяя хорошо известную формулу:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (7)$$

вычисляем расстояния от объектива до хорошо ~~сфокусированных~~ сфокусированных изображений точек заднего и переднего плана соответственно:

$$v_3 = \frac{u_3 f}{u_3 - f} = \frac{(u + \delta u_3) f}{u + \delta u_3 - f}; \quad (8)$$

$$v_n = \frac{u_n f}{u_n - f} = \frac{(u - \delta u_n) f}{u - \delta u_n - f}; \quad (9)$$

На основе подобия треугольников /см. рис.5/ мы имеем:

$$\frac{2a}{2b_3} = \frac{v_3}{v - v_3} \quad \text{и} \quad \frac{2a}{2b} = \frac{v_n}{v_n - v}; \quad (10)$$

Требую, чтобы $b_3 = b_n$, получаем для расстояния от объектива до плоскости изображения плоскости наведения - v , выражение:

$$v = \frac{2v_n v_3}{v_n + v_3} \quad /11/$$

Теперь, из /7/, /8/ и /9/ получаем для расстояния от объектива до плоскости наведения выражение:

$$u = \frac{2u_n u_3}{u_3 + u_n} \quad /12/$$

Численные значения для камеры ВК-4.

/все расстояния приведены к воздуху/

$$u_3 = 1725\text{мм} \quad \Delta = u_3 - u_n = 276\text{мм}$$

$$u_n = 1449\text{мм} \quad \rho_{u_3} = u_3 - u = 150\text{мм}$$

$$u = 1575\text{мм} \quad \rho_{u_n} = u - u_n = 126\text{мм}$$

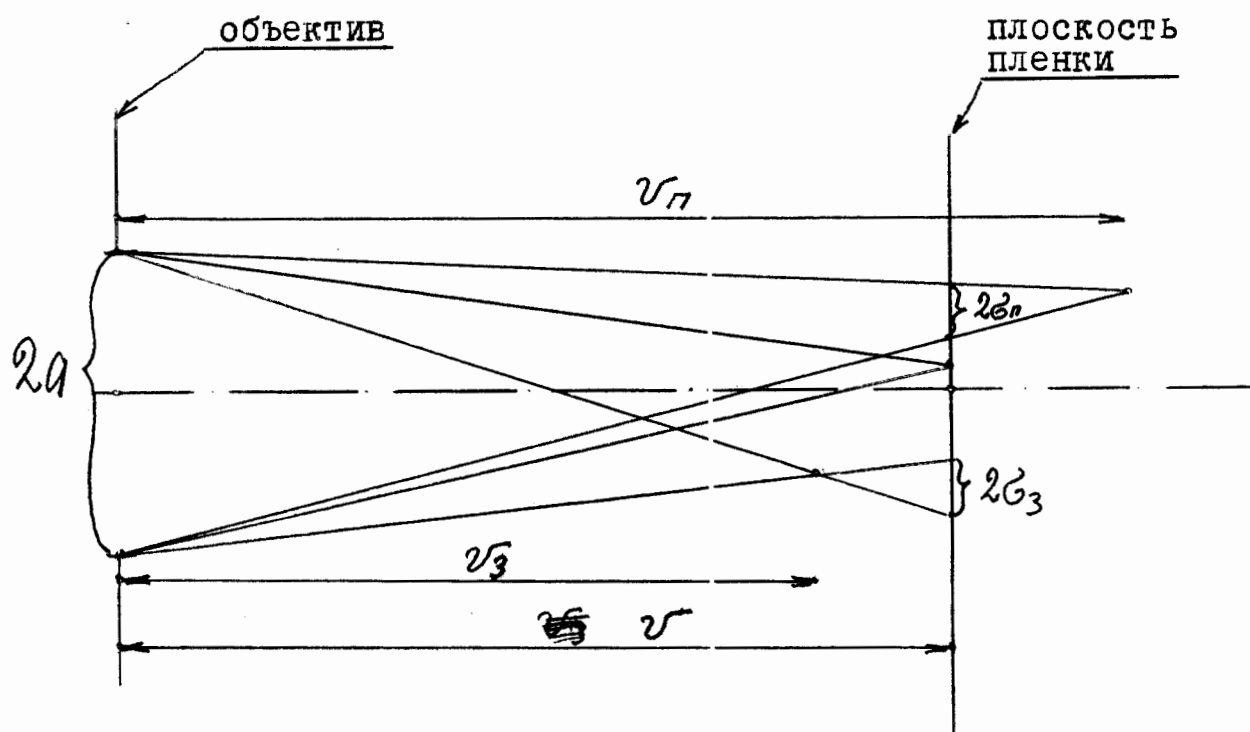


Рисунок 5.

п.17 Геометрический кружок рассеяния.

Из формул /8/ и /9/ предыдущего пункта легко получить выражение для геометрического кружка рассеяния. В самом деле

$$2\sigma_3 = 2a \frac{v - v_3}{v_3} \quad /10/$$

Подставляя в /10/ выражения для v и v_3 из /8/ и /9/ получаем:

$$2\sigma_3 = 2a \frac{f \rho_{u_3}}{(u + \rho_{u_3})(u - f)} \quad /13/$$

Учитывая, что $u = (1 + 1/m)f$, где m - масштаб изображения для плоскости наведения, получим:

$$2\sigma_3 = \frac{2a}{f} \frac{m^2 f \rho_{u_3}}{(1+m)f + m \rho_{u_3}} \quad /14/$$

Аналогично получаем выражение для σ_n :

$$\begin{aligned} 2\sigma_n &= 2a(1 - v/v_n) = \frac{2a f \rho_{u_n}}{(u-f)(u - \rho_{u_n})} = \\ &= \frac{2a}{f} \frac{m^2 f \rho_{u_n}}{(1+m)f - m \rho_{u_n}} \end{aligned} \quad /15/$$

Таким образом, геометрический кружок рассеяния

$$\begin{aligned} 2\sigma &= 2\sigma_n = 2\sigma_3 = \\ &= A \frac{m^2 f \rho_{u_n}}{(1+m)f - m \rho_{u_n}} = A \frac{m^2 f \rho_{u_3}}{(1+m)f + m \rho_{u_3}} \end{aligned} \quad /16/$$

где $A = 2a/f$ - относительное отверстие объектива,

m - масштаб фотографирования для плоскости наведения

f - фокусное расстояние объектива

ρ_{u_n} и ρ_{u_3} - отстояния переднего и заднего планов фотографирования от плоскости наведения

соответственно

 $\rho_{и\pi} = \rho_{и3} - \Delta z$ - глубина фотографируемого объема.

п.18. Дифракционный кружок размытия. Критическая апертура.

За размер дифракционного кружка размытия обычно принимается диаметр первого максимума дифракционной картины:

$$\varepsilon = 2 z_k = \frac{2 m_k \lambda v}{2 \pi a} \quad /17/$$

где λ - длина волны

v - расстояние до плоскости изображения

$m_k = 3,83$ для первого максимума.

Вводя $v = (1 + m) f$ и $A = 2a/f$ получаем

$$\varepsilon = 2,44 (1 + m) \lambda / A \quad /18/$$

Апертура, при которой диаметр дифракционного кружка размытия равен диаметру геометрического кружка рассеяния, получила наименование критической апертуры. Из /16/ и /18/ для критической апертуры имеем выражение:

$$A_c = \frac{m^2 f \rho_{и\pi}}{(1+m)f - m \rho_{и\pi}} = 2,44 (1+m) \lambda / A_c \quad /19/$$

откуда следует:

$$A_c \approx \left(1 + \frac{1}{m}\right) \sqrt{2,44 \frac{\lambda}{\rho_{и\pi}}} \quad /20/$$

если пренебречь членом $m \rho_{и\pi}$ по сравнению с членом $(1+m) f$ на порядок большим.

Или же

$$\varepsilon = 2,44 (1+m) \lambda / A_c = \varepsilon_3 + \varepsilon_n =$$

$$= \frac{A_c m^2 f}{2} \left\{ \left[\frac{\delta u_n}{(1+m)f - m \delta u_n} \right] + \left[\frac{\delta u_3}{(1+m)f + m \delta u_3} \right] \right\} =$$

$$= \frac{A_c m^2 f}{2} \frac{\delta u_n + \delta u_3}{(1+m)f + m(\delta u_3 - \delta u_n) - m^2 \frac{\delta u_3 \delta u_n}{(1+m)f}} \quad /21/$$

Так как $m \sim 1/10$, разница между δu_3 и δu_n мала, то мы можем пренебречь двумя членами в знаменателе $m(\delta u_3 - \delta u_n)$ и $m^2 \frac{\delta u_3 \delta u_n}{(1+m)f}$, как малыми по сравнению с $(1+m)f$.

Таким образом имеем:

$$2,44 \frac{(1+m) \lambda}{A_c} = \frac{A_c m^2 (\delta u_n + \delta u_3)}{2(1+m)} = \frac{A_c \Delta u m^2}{2(1+m)} \quad /22/$$

Откуда получаем хорошо известную формулу для критической апертуры:

$$A_c = \left(1 + \frac{1}{m}\right) \sqrt{\frac{2,44 \lambda}{\Delta u/2}} \quad /23/$$

Численные значения для камеры ВК-4.

$$m = 1/9,5 \quad \lambda = 0,44 \mu \quad \delta u_n = 126 \text{ мм}$$

$$A_c = 1/32,5 \quad \varepsilon_c = 39 \mu.$$

п.19. Показатель преломления водорода.

Показатель преломления водорода для линии $\lambda_D = 5893 \text{ \AA}$ при 0°C и 760 мм Hg равен

$$n_D = 1,0001384$$

Плотность водорода при 0°C и 760 мм Hg

$$\rho = 0,00008987 \text{ гр/см}^3$$

Из этих двух значений находим

$$\frac{n^2 - 1}{\rho} = 1,54 \text{ см}^3/\text{гр} \quad /24/$$

и значение для константы

$$A = \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 2)} \frac{1}{\rho} = 1,026 \text{ см}^3/\text{гр} \quad /25/$$

Измерения показателя ~~жидкого~~ преломления жидкого водорода впервые были выполнены Августинном /3/. Августин измерил показатель преломления жидкого водорода по отношению к показателю преломления газообразного водорода при $T = 20,26^\circ \text{K}$ и давлении $p = 749,43 \text{ мм Hg}$ и получил значение для $\lambda = 5790 \text{ \AA}$

$$n = 1,10974 \pm 6 \times 10^{-5}.$$

При этом он измерил плотность жидкого водорода и получил значение

$$\rho = (7,105 \pm 0,006) \times 10^{-2} \text{ гр/см}^3.$$

Из данных Августина получены следующие значения для

$$A = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{1}{\rho}$$

ТАБЛИЦА 1У

$\lambda(\text{\AA})$	6563	5790	5461	4359
$A \text{ /см}^3/\text{гр/}$	$1,023 \pm 0,001$	$1,028 \pm 0,001$	$1,03 \pm 0,001$	$1,046 \pm 0,001$

Неточности обусловлены ошибкой измерения плотности водорода ρ_H при давлении $p = 749,43 \text{ мм Hg}$.

Зависимость показателя преломления от плотности, на основании формулы Лорентц-Лоренца, суть

$$n(\lambda) = \sqrt{\frac{1 + 2\rho A(\lambda)}{1 - \rho A(\lambda)}}$$

/25/

Плотность жидкого водорода при рабочих условиях пузырьковой камеры, согласно измерениям Кларка и *Diehl*

$$\rho = 0,0586 \text{ гр/см}^3$$

Для этого значения плотности и для длины волны $\lambda = 5790 \text{ \AA}$ / $A=1,028$ / для показателя преломления жидкого водорода получаем значение .

$$n_D = 1,092$$

Для жидкого водорода с плотностью $\rho = 0,55 \text{ гр/см}^3$

$$n_D = 1,086.$$

п.20 . Связь между изменениями плотности и показателя преломления.

Зависимость показателя преломления от плотности определяется уравнением Лорентц-Лоренца

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = A \rho \quad /27/$$

где n - показателя преломления, ρ - плотность и A - константа.

В /8/ показано, что для водорода зависимость Лорентц-Лоренца хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Для определения соотношения между отклонениями показателя преломления в зависимости от изменений плотности необходимо прологарифмировать, а затем продифференцировать уравнение Лорентц-Лоренца. Таким образом получаем:

$$\frac{\Delta n}{n} \sim \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{n^4 + n^2 - 2}{6n^2}$$

/28/

Подставляя в это соотношение значение показателя преломления жидкого водорода $n = 1,092$ находим

$$\frac{\Delta n}{n} \approx 0,09 \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta \rho}{\rho} \approx 11 \frac{\Delta n}{n} \quad /29/$$

т.е. относительное изменение показателя преломления жидкого водорода в пузырьковой камере на порядок меньше относительного изменения плотности жидкого водорода.

п.21. Оценка влияния градиента плотности газообразного водорода в вакуумном кожухе камеры ВК-4.

Обычно, в водородных пузырьковых камерах применяется высоковакуумная теплоизоляция корпуса камеры от вакуумного кожуха. В камере ВК-4 предусмотрена возможность применения наряду с высоковакуумной теплоизоляцией теплоизоляции ~~двух~~ дьбарного типа, при которой в вакуумном кожухе содержится газ - водород /5/. Во втором случае, фотографирование рабочего объема камеры ВК-4 осуществляется сквозь слой газообразного водорода с градиентом температуры, ориентированным по направлению силы тяжести и почти совпадающим с направлением фотографирования.

Слой газа с градиентом плотности, как известно, вызывает искривление хода световых лучей. В связи с этим целесообразна оценка искажения хода лучей слоем газа с градиентом плотности или оценка допустимого значения давления газа - водорода - в вакуумном кожухе камеры ВК-4.

Рассмотрим рисунок 6. Здесь

0 - точка входа луча Т0 в защитное стекло вакуумного кожуха,

Подставляя в это соотношение значение показателя преломления жидкого водорода $n = 1,092$ находим

$$\frac{\Delta n}{n} \approx 0,09 \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta \rho}{\rho} \approx 11 \frac{\Delta n}{n} \quad /29/$$

т.е. относительное изменение показателя преломления жидкого водорода в пузырьковой камере на порядок меньше относительного изменения плотности жидкого водорода.

п.21. Оценка влияния градиента плотности газообразного водорода в вакуумном кожухе камеры ВК-4.

Обычно, в водородных пузырьковых камерах применяется высоковакуумная теплоизоляция корпуса камеры от вакуумного кожуха. В камере ВК-4 предусмотрена возможность применения наряду с высоковакуумной теплоизоляцией теплоизоляции ~~дьярн~~ дьярного типа, при которой в вакуумном кожухе содержится газ - водород /5/. Во втором случае, фотографирование рабочего объема камеры ВК-4 осуществляется сквозь слой газообразного водорода с градиентом температуры, ориентированным по направлению силы тяжести и почти совпадающим с направлением фотографирования.

Слой газа с градиентом плотности, как известно, вызывает искривление хода световых лучей. В связи с этим целесообразна оценка искажения хода лучей слоем газа с градиентом плотности или оценка допустимого значения давления газа - водорода - в вакуумном кожухе камеры ВК-4.

Рассмотрим рисунок 6. Здесь

0 - точка входа луча П0 в защитное стекло вакуумного кожуха,

- T - точка выхода луча TO из стекла-иллюминатора корпуса камеры,
 ON - нормаль к поверхностям стекол,
 OS - ход луча в отсутствие градиента плотности газа между стеклами-иллюминаторами камеры,
 N' - проекция нормали ON на плоскость наведения,
 T' - точка пересечения луча OT с плоскостью наведения,
 S' - точка пересечения луча OS с плоскостью наведения.

На этом рисунке, с целью его упрощения, все толщины сред редуцированы к воздуху.

$S'T$ и $S'T'$ искомые смещения луча /подушкообразная дисторсия/, обусловленные градиентом плотности газа между стеклами камеры, соответственно в плоскости стекла-иллюминатора корпуса камеры и плоскости наведения. В качестве меры искажения хода луча примем именно эти отрезки $S'T = \Delta p$ и $S'T' = \Delta r$.

Для границы раздела сред с показателями преломления n и $n + \Delta n$ /см. рис. 7/, на основании закона преломления, имеем

$$n \sin i = (n + \Delta n) \sin (i - \Delta i) \quad /30/$$

Полагая для небольших Δn и $\sin i \cos i = 1$, $\sin i = i$ и $\Delta n \Delta i = 0$ находим, что

$$\Delta i = \frac{\Delta n}{n} \operatorname{tg} i \quad /31/$$

Устремляя величину $\Delta n \rightarrow 0$ и переходя к дифференциалам

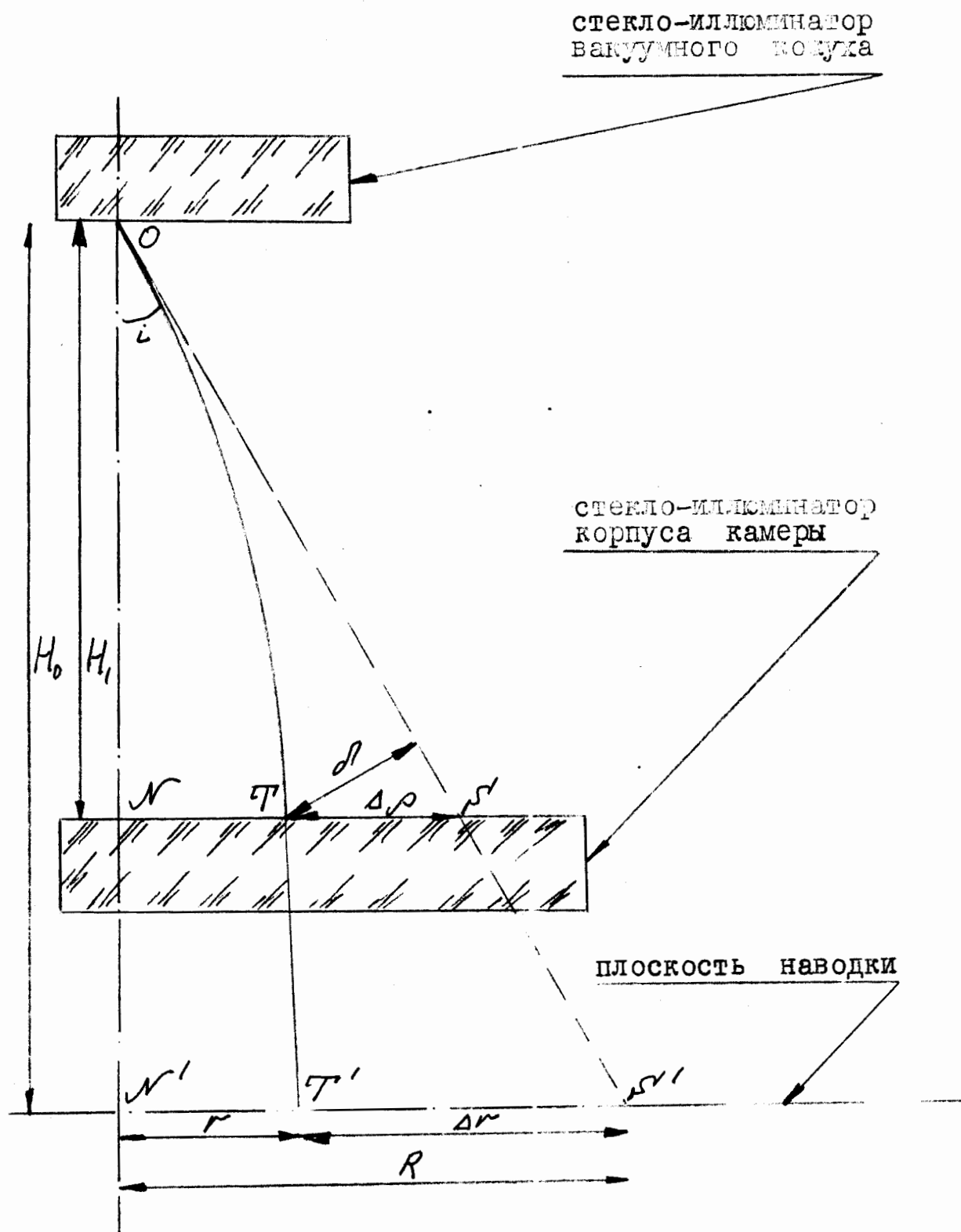


Рисунок 6.

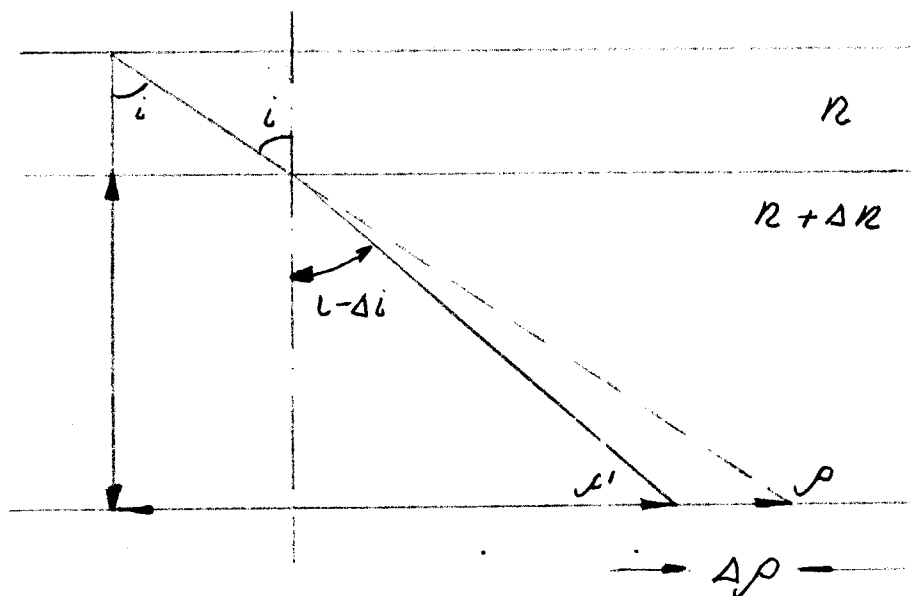


Рисунок 7.

получим

$$di = \operatorname{tgi} \frac{dn}{n} \quad /32/$$

связь углового смещения светового луча с показателем преломления среды, с переменным показателем преломления.

Нас интересует величина линейного смещения точки ~~выхода светового луча из слоя~~ выхода светового луча из слоя толщиной t с показателем преломления $n + \Delta n$ относительно точки выхода светового луча из слоя той же толщины, но с показателем преломления n . Из рис. 7 находим, что

$$\Delta \rho = t [\operatorname{tgi} - \operatorname{tg}(i - \Delta i)] \quad /33/$$

Преобразовывая выражение в скобках, находим

$$\operatorname{tgi} - \operatorname{tg}(i - \Delta i) =$$

$$= \operatorname{tgi} - \frac{\operatorname{tgi} - \operatorname{tg} \Delta i}{1 + \operatorname{tgi} \operatorname{tg} \Delta i} \cdot \frac{1 - \operatorname{tgi} \operatorname{tg} \Delta i}{1 - \operatorname{tgi} \operatorname{tg} \Delta i} = \quad 37.$$

$$= \operatorname{tgi} - \frac{\operatorname{tgi} - \operatorname{tg} \Delta i - \operatorname{tg}^2 i \operatorname{tg} \Delta i + \operatorname{tgi} \operatorname{tg}^2 \Delta i}{1 - \operatorname{tg}^2 i \operatorname{tg}^2 \Delta i}$$

Пренебрегая величинами второго порядка малости и заменяя $\operatorname{tg} \Delta i$ на Δi , получим

$$\operatorname{tgi} - \operatorname{tg}(i - \Delta i) = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \Delta i \quad /34/$$

После подстановки /34/ в /33/ получаем выражение для смещения луча

$$\Delta \rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) t \Delta i \quad /35/$$

Подставляя в /35/ выражение для Δi из /31/ находим

$$\Delta \rho = t (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tgi} \frac{\Delta n}{n} \quad /36/$$

Устремляя величину $\Delta \rho$ к нулю и переходя к дифференциалам, получаем величину смещения светового луча в слое конечной толщины но с слегка измененным показателем преломления

$$d\rho = t (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tgi} \frac{dn}{n} \quad /37/$$

В нашем случае, показатель преломления изменяется с высотой слоя по нормали к поверхностям равного значения n и поэтому мы можем написать, что

$$dn = \operatorname{grad} n \, dt \quad /38/$$

После подстановки /38/ в /37/ получаем:

$$d\rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \frac{\operatorname{grad} n}{n} t dt \quad /39/$$

дифференциальное выражение для смещения светового луча в слое с градиентом показателя преломления.

Для нахождения величины смещения хода луча $\Delta\rho = T \delta$ необходимо проинтегрировать это выражение по dt от 0 до H , где H - расстояние между стеклами-иллюминаторами вакуумного кожуха корпуса камеры. Имеем:

$$\Delta\rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \int_0^H \operatorname{grad} \ln n t dt \quad /40/$$

Плотность газа между защитными стеклами-иллюминаторами, а стало быть и показатель преломления, изменяется нелинейно, однако, для нашей оценки, вполне достаточно допустить постоянное значение градиента показателя преломления для всего промежутка ~~между~~ между стеклами-иллюминаторами камеры. При этом допущении ~~предыдущее~~ предыдущее выражение принимает вид:

$$\Delta\rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \frac{\operatorname{grad} n}{n} \frac{H^2}{2} \quad /41/$$

Эту формулу можно получить и иным путем. Из рис. 6. находим выражение для $\Delta\rho = T \delta$:

$$\Delta\rho = \frac{H^2}{2(H \operatorname{tg} i - R \operatorname{ctg} i) \operatorname{ctg}^2 i} \quad /42/$$

где R - радиус кривизны луча OT , H - расстояние между стеклами. Для радиуса кривизны луча в среде с градиентом плотности известно выражение /6/:

$$R = \frac{n}{\operatorname{grad} n \sin i} \quad /43/$$

Осуществляя подстановку /43/ в /42/ и производя некоторые преобразования, находим:

$$\Delta \rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \frac{\operatorname{grad} n}{n} \frac{H^2}{2} \frac{1}{\frac{\Delta n}{n} \operatorname{tg}^2 i - 1} ; \quad /44/$$

Замечая, что $\frac{\Delta n}{n} \operatorname{tg}^2 i \ll 1$, производим сокращение этого члена в знаменателе и получаем прежнее выражение:

$$\Delta \rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \frac{\operatorname{grad} n}{n} \frac{H^2}{2} \quad /41/$$

Поскольку нас интересует величина $T'S''$ - смещение луча в плоскости наводки, то из рис. 6, пренебрегая кривизной луча OT , на основании подобия треугольников $OT'S'$ и $OT'S''$, получаем

$$T'S'' = \frac{H_0}{H} T'S' \quad /45/$$

где H_0 - отстояние плоскости стекла-иллюминатора вакуумного кожуха от плоскости наводки. Однако, так как кривизна луча все-таки конечна, то правильнее будет написать:

$$\Delta r = T'S'' \approx \frac{H_0}{H} T'S' = \frac{H_0}{H} \Delta \rho \quad /46/$$

Так как для оценки было принято, что градиент плотности газа величина постоянная, то мы имеем:

$$\operatorname{grad} n = \frac{\Delta n}{H} \quad /47/$$

и отсюда, после подстановки в /41/

$$\Delta \rho = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \frac{\Delta n H}{2n} \quad /48/$$

$$\Delta r = (1 + \operatorname{tg}^2 i) \operatorname{tg} i \frac{\Delta n H_0}{2n} \quad /49/$$

В таблице У представлены расчетные значения показателя преломления газообразного водорода при указанных в таблице значениях давления и температуры. Вычисление значений показателя преломления велось по формуле Лорентц-Лоренца:

$$n = \sqrt{\frac{1 + 2\rho A}{1 - \rho A}}$$

для указанных в таблице значений плотности газообразного водорода и постоянной А. Значение постоянной А = 1,026 при T = 300°K вычислено по табличным данным плотности и показателя преломления. Для низких температур принято А = 1,028 в соответствии с измерениями Августина /3/. В последнем столбце приведены значения разности показателей преломления водорода при различных температурах.

В таблице У1 представлены результаты расчетов по формулам /48/ и /49/ смещений хода луча в плоскости стекла-иллюминатора ~~камеры~~ корпуса камеры и в плоскости наводки соответственно. Расчеты выполнены для трех значений полевого угла θ , двух значений давления газа 1 ата и 0,1 ата. Кроме того, сделаны оценки для случая, когда величина градиента плотности газа в слое толщиной 100 мм вблизи стекла-иллюминатора корпуса камеры отлична от градиента плотности в остальной части зазора между стеклами-иллюминаторами. Смещения, обусловленные верхним слоем толщиной 1100мм, обозначены как $\Delta\Gamma_1$ и $\Delta\Gamma_1'$, а смещения, обусловленные нижним слоем, - как $\Delta\Gamma_2$ и $\Delta\Gamma_2'$ соответственно.

Из приведенных результатов сугубо оценочных рас-

Таблица У

Р ата	Т°К	ρ г/литр	А см ³ /гр	$\lambda_{\text{Д}}$	$\Delta \lambda = \lambda_{\text{Д}} - \lambda_{\text{Д}0}$
1,0	300	0,08987	1,026	1,0001384	0
1,0	40	0,65	1,028	1,0010019	0,0008635
1,0	30	0,83	1,028	1,001279	0,0011406
1,0	25	1,00	1,028	1,001538	0,0013996
1,0	20	1,25	1,028	1,001928	0,0017896
<hr/>					
0,1	300	0,008987	1,026	1,00001383	0
0,1	40	0,065	1,028	1,00010002	0,00008619
0,1	30	0,083	1,028	1,0001329	0,0001191
0,1	25	0,100	1,028	1,0001540	0,000140
0,1	20	0,125	1,028	1,0001927	0,000179

Таблица У1

 $\Delta T = 300^\circ \text{K} - 20^\circ \text{K} ; H = 1200 ; H_0 = 1426$

Угол i	$\Delta \rho$		Δr	
	P=1ата	P=0,1ата	P=1ата	P=0,1ата
10°	0,19	0,020	0,23	0,023
20°	0,45	0,045	0,53	0,053
30°	0,83	0,083	0,98	0,098

 $P=1ата ; H_1 = 1100 ; H_2 = 100$

	Угол i	Δr_1	$\Delta r_1'$	Δr_2	$\Delta r_2'$
$\Delta T=300^\circ-40^\circ$ $\Delta T=40^\circ-20^\circ$	10°	0,086	0,11	0,0081	0,026
	20°	0,2	0,26	0,0186	0,061
	30°	0,37	0,48	0,035	0,114
$\Delta T=300^\circ-30^\circ$ $\Delta T=30^\circ-20^\circ$	10°	0,113	0,146	0,0063	0,020
	20°	0,26	0,340	0,0144	0,047
	30°	0,48	0,620	0,027	0,088
$\Delta T=300^\circ-25^\circ$ $\Delta T=25^\circ-20^\circ$	10°	0,14	0,18	0,0036	0,012
	20°	0,32	0,42	0,0082	0,027
	30°	0,59	0,77	0,0154 0,0154	0,050

четов влияния градиента плотности газа в зазоре между стеклами/иллюминаторами пузырьковой камеры ВК-4 следует, что при давлениях в этом зазоре $P = 1$ ата величина дисторсии в плоскости наведения достигает величины порядка 1 мм для угла 30° и для $P = 0,1$ ата - 0,1 мм соответственно. При давлении газа $P = 0,01$ ата величина градиентной дисторсии снизится до 0,01 мм для угла в 30° .

Таким образом, при дьюарной системе теплоизоляции водородной пузырьковой камеры ВК-4 безусловно допустимо давление водорода в вакуумном кожухе вплоть до $P = 0,1$ ата.

п.22. Оценка влияния градиента температуры в стекле-иллюминаторе.

В стекле-иллюминаторе корпуса камеры имеет место распределение температуры, с градиентом, направленным по направлению фотографирования. Этот градиент температуры вызывает искривление хода световых лучей, т.е. обуславливает некоторое искажение изображения. В связи с этим целесообразна оценка влияния градиента температуры в стекле-иллюминаторе корпуса камеры на дисторсию изображения.

К сожалению, в литературе отсутствуют данные о $\beta_{\text{агс}}$ приращении показателя преломления стекол при изменении температуры на 1° в области низких температур. В связи с этим для оценки придется брать значения $\beta_{\text{агс}}$ для интервала $-60^\circ\text{C} \text{ — } +20^\circ\text{C}$. Известно, что для плавленого кварца и ЛК-5 значение $\beta_{\text{агс}}$ уменьшается с понижением температуры до -100°C . Таким образом, можно считать, что наша

оценка по значению $\beta_{\text{агс}}$ для комнатных температур, по видимому верхняя оценка.

Для стекла ЛК-7 $\beta_{\text{агс}} = 5,4 \cdot 10^{-6}$ для \mathcal{D} -линии.

Приращение показателя преломления по толщине стекла-иллюминатора камеры ВК-4 составит $\Delta n = \beta_{\text{агс}} \Delta T$ что при $\Delta T = 60^\circ$ даст $\Delta n = 0,000324$.

Смещение хода луча согласно /48/ на толщине 100мм составит:

$$\Delta \rho = (1 + \text{tg}^2 i) \text{tg} i \frac{\beta_{\text{агс}} \Delta T \mathcal{D}}{2n} =$$

$$= 0,011 (1 + \text{tg}^2 i) \text{tg} i \quad /50/$$

Это смещение хода луча в плоскости нижней поверхности стекла-иллюминатора приведет к смещению в плоскости наведения на величину /для камеры ВК-4/

$$\Delta r^x = \frac{193,5}{126} \Delta \rho = 1,5 \Delta \rho \quad /51/$$

Таким образом мы получаем следующие оценки для величины хода смещения луча в плоскости наводки камеры ВК-4 /дисторсии/ для трех значений полевого угла:

Таблица У11

i	10°	20°	30°
$\Delta \rho_{\text{мм}}$	0,002	0,0045	0,0085
$\Delta r^x_{\text{мм}}$	0,003	0,007	0,013

Из приведенных численных значений величины дисторсии, обусловленной градиентом температуры в стекле-иллюминаторе видно, что эта дисторсия существенно меньше дисторсии, обусловленной градиентом температуры в газе, заполняющем зазор между стеклами-иллюминаторами

камеры до давления , например, 0,1 ата.

Цитированная литература.

- /1/ Ван Ган-Чан, Соловьев и Шкобин, ПТЭ 1, 41стр, 1959г.
- /2/ Козубский и Малы, Авторское свидетельство №165075.
- /3/ Augustine, *Annalen der Physik*
46, 419, 1915г.
- /4/ R.R. Ross, *U.S.P.*, 146, 1958г.
- /5/ Дьячков, Авторское свидетельство № 153 486.
- /6/ Слюсарев Г.Г. Геометрическая оптика, стр. 40, 1946г.

СОДЕРЖАНИЕ.

Раздел 1.

- п.1. Исходные данные стр. 2.
- п.2. Число стереоснимков стр. 2.
- п.3. Ширина пленки стр. 5.
- п.4. Объективы стр. 6.
- п.5. Стекла-иллюминаторы стр. 7.
- п.6. Масштаб фотографирования стр. 10.
- п.7. Компенсация дисторсии стр. 11.
- п.8. База фотосъемки стр. 13.
- п.9. Взаимное расположение фотоаппарата, осветителя
и стекол-иллюминаторов стр. 15.
- п.10. Реперные марки. Взаимная ориентация. . . стр. 18.
- п.11. Маркировка кадров. стр. 19.
- п.12. Схема фотографирования камеры ВК-4 . . . стр. 20.
- п.13. Эксплуатационные требования к конструкции стерео-
скопического фотоаппарата СФК-ВК-4. . . . стр. 21.
- п.14. Примечания стр. 22.

Дополнения.

- п.15. Оценка толщины стекол-иллюминаторов камеры ВК-4
. стр. 23.
- п.16. Положение плоскости наведения. стр. 26.
- п.17. Геометрический кружок рассеяния стр. 28.
- п.18. Дифракционный кружок размытия. Критическая
апертура. стр. 29.
- п.19. Показатель преломления стр. 30.
- п.20. Связь между изменениями плотности и пока-
зателя преломления. стр. 32.
- п.21. Оценка влияния градиента плотности газообразного
водорода в вакуумной кожухе камеры ВК-4 стр.33.
- п.22. Оценка влияния градиента температуры в стекле-

-иллюминаторе стр. 43.
Цитированная литература. стр. 46.

----//----

13-14-662.
Мозгов