

P-257

P-257

**МАТЕРИАЛЫ****совещания по камерам Вильсона, диффузионным и  
пузырьковым камерам****Выпуск IV****ФОТОГРАФИРОВАНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ****КАМЕР****г. Дубна, 1958 год**

157.32  
С-56

P-257

**МАТЕРИАЛЫ**  
**совещания по камерам Вильсона, диффузионным и**  
**пузырьковым камерам**

Выпуск IV

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ  
КАМЕР

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

и-32071

Настоящий выпуск подготовлен к печати  
Э.В. Козубским

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

1. И.С.Маршак. Характеристики импульсных ламп, применяемых для освещения камер Вильсона ..... 3
2. Ю.Ш.Мошковский. Современные негативные фото - графические материалы и способы их обработки.. 29
3. М.М.Русинов. О некоторых особенностях работы фотографических объективов, применяемых при съемках в камерах Вильсона ..... 54
4. В.Б.Елисеев, Г.М.Стажков, А.П.Шмелева. Сравнительное исследование нескольких осветительных систем для больших камер Вильсона ..... 78
5. Е.А.Лариков. К вопросам о фотографировании и освещении следов в камерах Вильсона .....100
6. Э.М. Лившиц. О фотограмметрических установках, разработанных Ленинградским институтом точной механики и оптики, для исследования частиц высоких энергий ..... 110
7. А.П.Андреев, Н.Ю.Логунов. Автоматический стереоскопический фотоаппарат - репроектор с дистанционным управлением ..... 132

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАМП, ПРИМЕНЯЕМЫХ

### ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ КАМЕР ВИЛЬСОНА

И.С. Маршак

(Московский электроламповый завод)

Современные импульсные лампы (Л-1), благодаря своим свойствам им высокой яркости, незначительному нагреву, большому разнообразию формы светящегося объема и легкости управления, являются идеальным источником света для фотографирования следов частиц в камерах Вильсона и подобных им приборах.

До недавнего времени эти лампы создавались эмпирическим путем, не позволявшим достигнуть оптимальных характеристик. Вследствие этого у нас и за границей было разработано некоторое число типов ламп с неоправданными конструктивными данными и параметрами питания (применение кварца для маломощных ламп, слишком высокое рабочее напряжение, усложняющее аппаратуру включения, и т.д.).

Выполненная на Московском электроламповом заводе серия исследований физико-технических характеристик ламп дала возможность подойти к выбору их конструктивных элементов и параметров питания с большими основаниями.

Современная импульсная лампа представляет собой стеклянную или кварцевую трубку <sup>х)</sup> той или иной конфигурации, в концы которой впаяны два токоведущих электрода. Трубка наполняется ксеноном при давлении 50–250 мм рт.ст.

На наружной поверхности трубки располагается электрод зажигания (проволока или полоска проводящей мастики). Принципиальная схема включения одной лампы показана на рис.1. На рис.2 приведены схемы одновременного включения нескольких импульсных ламп.

Основными элементами этих схем, помимо самих ламп, являются конденсаторы, импульсные трансформаторы и выпрямители. В настоящее время имеется 2 основных группы типов конденсаторов для питания импульсных ламп: импульсные бумажно-масляные конденсаторы и электролитические фотоосветительные конденсаторы с минимальной утечкой. Бумажно-масляные конденсаторы обычно применяются для питания высоковольтных ламп. При минимальной толщине конденсаторной бумаги 6–8 мк, наименьшем числе слоев бумаги (4), обеспечивающем достаточно малую вероятность совпадения дефектов бумаги, и электрическом градиенте в диэлектрике около 90 кв/мм (допускается в импульсных конденсаторах со сроком службы в несколько десятков тысяч вспышек) рабочее напряжение конденсатора равно 2200 – 2900 вольт. При таком напряжении удельный вес бумажно-масляного конденсатора (вес, отнесенный к одному джоулю запасенной в нем энергии) составляет обычно 35–40 граммов.

---

х) Помимо описываемых здесь трубчатых ламп низкого давления, существуют также лампы высокого давления (атмосферного и более высокого) с широкой колбой и коротким искровым промежутком. Эти лампы применяются для получения весьма коротких вспышек и вследствие сравнительно низкой световой отдачи и сложности схемы питания используются только в аппаратуре, требующей, чтобы светящийся объем имел минимальные размеры.

(Серийные импульсные конденсаторы ИМ-3-100 имеют удельный вес около 70 граммов вследствие заниженного электрического градиента, соответствующего сроку службы в миллионы вспышек). При более низких рабочих напряжениях удельный вес бумажных конденсаторов значительно увеличивается.

Электролитические конденсаторы принципиально не могут изготавливаться на напряжения выше 600 вольт. При рабочем напряжении 300-500 вольт они имеют минимальный удельный вес 7-8 г.

В настоящее время НИИ МРТП разработано 5 типов электролитических фотоосветительных конденсаторов (серия "ЭФ"), отличающихся минимальными удельным весом и током утечки. Характеристики некоторых из них приведены в таблице I.

Т а б л и ц а    I

Основные характеристики конденсаторов ЭФ

№ пп	Емкость мкф	Раб.напр. вольт	Размеры корпуса		Максимальный ток утечки ма	Вес
			высота мм	Ø мм		
1.	800	300	115	50	1,5	350
2.	1300	300	115	65	2	500
3.	1000	500	115	90	5	1000

Основные недостатки электролитических конденсаторов: малый срок службы (300 - вольтовые конденсаторы теряют до 50% емкости за 10.000 всплеск) и сравнительно большие потери в диэлектрике, не позволяющие повторять всплески чаще чем с интервалом в несколько секунд. Вследствие значительного тока утечки, меняющегося в процессе эксплуатации и от образца к образцу, электролитические конденсаторы можно включать последовательно только при условии их шунтирования омическим делителем, составленным из сопротивлений в несколько раз меньших сопротивления утечки конденсаторов.

Для зажигания ламп обычно используются простейшие импульсные автотрансформаторы без магнитного сердечника. Данные трех таких трансформаторов, рекомендованных техническими условиями на отечественные импульсные лампы, приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Данные импульсных трансформаторов.

№ пп	Т и п	Для каких ламп	Параметры питания		I обмотка		II обмотка		Отправк	
			Емк. конд. мкФ	Напряж. вольт	Про- вод	Число вит- ков	Про- вод	Чис- ло вит- ков	Ø	длин мм
1.	СУ5.142.001	малые стекл.	0,1	300	ПЭЛ 0,69	30	ПЭШО Ø0,06	2000	7	20
2.	700 ТРИ2	Средние стекл.	4	500	ПЭЛ Ø0,8	27	ПЭШО Ø0,07	3000	8	30
3.	700 ТРИ1 (масляный)	Мощные кварце- вые	1	800	ПЭЛ Ø0,93	25	ПЭШО Ø0,15	2500	21	50

К выпрямителям, используемым для питания ламп, обычно предъявляются следующие основные требования. Максимальное напряжение - на 30-40% выше рабочего напряжения лампы; внутреннее сопротивление - равное



интервалу между вспышками, деленному на емкость питающего лампы конденсатора; типовая мощность — равная 3-х кратной средней мощности, рассеиваемой в лампе. При таком выборе параметров обеспечивается почти прямолинейный график заряда конденсатора, благодаря чему достигается наибольший к.п.д. и наилучшим образом предотвращается возможность перехода лампы в режим непрерывного горения.

Для того, чтобы в случае пропуска вспышки напряжение на конденсаторе не поднималось выше номинала, в зарядную цепь часто включается какой-либо ограничитель напряжения (реле или разрядник, создающий утечку при соответствующем напряжении).

Помимо схем с накопительным конденсатором, возможны схемы бесконденсаторного питания импульсных ламп, одна из которых показана на рис.3. В таких схемах импульсная лампа непосредственно соединяется с сетью переменного тока. Зажигание лампы происходит в момент, соответствующий максимуму напряжения сети, после чего разряд в лампе горит в течение  $1/4$  периода и гаснет, когда напряжение приближается к 0. Как в этих, так и в конденсаторных схемах питания несмотря на огромные значения силы тока в лампе (сотни ампер), сечения проводов разрядной цепи могут быть весьма небольшими благодаря кратковременности разряда.

Сечения и длины проводов выбираются такими, чтобы сопротивление разрядного контура составляло незначительную часть по сравнению с сопротивлением лампы.

При весьма больших частотах повторения вспышек (несколько сот герц и выше), прямолинейный график заряда конденсатора уже не

обеспечивает отсутствие перехода разряда в режим непрерывного горения и для этого требуется задержка роста напряжения на конденсаторе сразу после разряда (Л.2). Пример соответствующий схемы приведен на рис.4.

Основными характеристиками импульсных ламп являются:

1. Напряжение зажигания  $U_z$  (минимальное напряжение на питающем конденсаторе, достаточное для возникновения разряда при подаче зажигающего импульса на внешний электрод).

2. Напряжение погасания  $U_n$  (остаточное напряжение на конденсаторе).

3. Напряжение самопробоя  $U_c$  (наибольшее напряжение на питающем конденсаторе, при котором гарантируется отсутствие самопроизвольного возникновения разряда без подачи зажигающего импульса; не следует считать, что при напряжении выше  $U_c$  обеспечивается надежное зажигание разряда без зажигающего импульса - для этого напряжение должно превышать  $U_c$  в 2-3 раза).

4. Длительность вспышки  $\tau$  (обычно за  $\tau$  принимается время, в течение которого сила света вспышки находится на уровне, превышающем 35% своей максимальной величины).

5. Коэффициент полезного действия  $\eta$  (световая отдача, выраженная в люмен-секундах на джоуль запасенной в конденсаторе энергии).

6. Спектр излучения.

7. Предельная нагрузка лампы (предельная энергия отдельной вспышки и предельная средняя мощность, которую лампа способна рассеять).

### 8. Срок службы.

Критические напряжения  $U_z$ ,  $U_n$  и  $U_c$  приблизительно пропорциональны длине трубки. Величина  $U_n$  для ламп с внутренним диаметром трубки, равным нескольким мм, на порядок ниже чем  $U_z$ . Так как энергия конденсатора равна  $C U^2/2$  ( $C$ -емкость), то напряжение погасания обычно практически не влияет на к.п.д. лампы. Только для ламп с диаметром менее 1 мм  $U_n$  начинает приближаться к  $U_z$ . Величина  $U_c$  в несколько раз превышает  $U_z$ . Благодаря этому также как благодаря возможности изменения частоты вспышек, импульсные лампы могут использоваться в весьма широком диапазоне режимов питания.

Напряжение зажигания примерно пропорционально квадратному корню из давления ксенона. Оно очень сильно зависит от чистоты наполняющего газа. Наличие в газе небольшой доли  $\theta$  примеси молекулярного газа повышает  $U_z$  в  $\sqrt{1+K\theta}$  раз, где  $K$ -отношение поперечных сечений рассеяния электронов с энергией около 1 э.в. атомами примеси и инертного газа (Л.3.).

Длительность вспышки лампы при емкостях питающего конденсатора, достаточных для заполнения каналом разряда всего сечения разрядной трубки, равна величине  $RC/2$ . Сопротивление лампы  $R$  может быть вычислено из длины и сечения  $l, S$  разрядной трубки по формуле:  $R = \rho l / S$ , где  $\rho$  - приблизительно постоянное удельное сопротивление плазмы разряда, равное 0,02 ом.см (Л.4).

При малых емкостях питающего конденсатора  $\tau$  становится значительно больше  $RC/2$  и начинает сильно зависеть от

индуктивности  $L$  разрядного контура, доходя для коротких ламп при  $L \approx 10^{-7}$  генри до долей микросекунды.

К.п.д. большинства импульсных ламп лежит в пределах от 25 до 50 лм /сек/дж. Он возрастает с градиентом напряжения  $E$  в лампе, ее внутренним диаметром  $D$ , длиной трубки  $l$  и давлением газа  $p_0$ , если названные величины не превышают значений:  $E = 50$  в/см,  $D = 6 + 8$  мм,  $l = 30$  см,  $p_0 = 100-150$  мм рт.ст. При более высоких значениях этих параметров, к.п.д. перестает от них зависеть.

Характер зависимости к.п.д. от внутреннего диаметра трубки виден из рис.5.

Спектр излучения импульсных ламп в основном сплошной. Он слабо зависит от конструктивных данных лампы и параметров ее питания. В видимой области он имеет максимум около 450 мкм. В области длин волн короче 450 мкм интенсивность излучения трубчатых ламп с начальным электрическим градиентом ниже 100-200 в/см плавно спадает до границы пропускания стекла. В ближней инфракрасной области (800-1100 мкм) на слабый сплошной спектр накладывается группа интенсивных линий с общей энергией, равной энергии видимого спектра.

Нагрузка лампы по средней рассеиваемой в ней мощности определяется условиями охлаждения колбы и максимально допустимой рабочей температурой последней.

Рабочая температура стеклянных ламп не должна превышать 150-200<sup>0</sup>С, кварцевых - 500-600<sup>0</sup>С. В условиях естественного охлаждения стеклянные лампы способны рассеивать 1-2 ватта средней мощности на 1 см длины разрядной трубки.

Переход на кварц или применение принудительного охлаждения позволяет увеличить среднюю мощность в 5-10 раз.

Предел энергии отдельной вспышки связан с тремя ограничивающими факторами: растрескивание стекла, взрыв колбы и потеря управляемости лампы. Исследования (Л.6) показали, что для стеклянных ламп основное значение играет первый фактор и, что для кварцевых ламп, все три фактора устанавливают примерно один и тот же предел нагрузки. Предельная нагрузка лампы сильнее всего зависит от длительности вспышки, пропорциональной величине  $ce$ . На рис.6 показаны графики зависимости предельной энергии вспышки, отнесенной к 1 см длины трубки от величины  $ce$ .

Из этих графиков следует, что для стеклянных ламп хорошо выполняется соотношение:  $(cu^4)_{пред} = Const \cdot e^3$

Для конкретного типа ламп величина в правой части этого уравнения является константой, которую мы назвали "фактором нагрузки" данного типа. Фактор нагрузки весьма слабо зависит от диаметра, толщины стенки, частоты вспышек, рода и давления газа.

Для кварцевых ламп, ввиду несколько меньшего наклона графиков на рис.6, приведенное выше уравнение принимает вид:  $cu^{3,6}/e^{2,6} = Const$   
Константа существенно зависит от диаметра трубки при  $\varnothing < 12$  мм.

Выяснение характера зависимости предельной нагрузки от величины  $ce$  позволило нам создать стеклянные лампы ИФП для камер Вильсона

с энергией вспышки до 4000 дж и кварцевые - с энергией вспышки до 15000 дж взамен ранее выпускавшихся кварцевых ламп ИПК с энергией вспышки до 600 дж. Последние сведения об английских лампах для камер Вильсона показывают, что в Англии также пошли по этому пути (например, стеклянная лампа *LSDI4* длиной 600 мм с энергией вспышки 2500 джоулей).

Материалы измерений световой отдачи и предельной нагрузки ламп позволили получить данные о максимально возможных значениях интеграла яркости вспышки по времени ( $\int B dt$ ) прямых кварцевых импульсных ламп при различных диаметрах разрядной трубки и емкостях питающего конденсатора, приведенные в таблице 3. Эти значения могут быть положены в основу расчетов оптических систем, предназначенных для фотографирования в камерах Вильсона.

Т а б л и ц а 3

Предельная допустимая нагрузка и соответствующий интеграл яркости (кварцевые трубки, интервал между вспышками 15 сек, естественное охлаждение, ксенон, 150 мм рт.ст.).

$C_e$ мкф. см.	Внутр. $\phi$ мм	2	4	6	9	12	15
12.000	$\frac{CU^2}{2e}$ гм	11,7	35	48,3	63,3	75	75
	$\int B dt$ макс. мегаит сек.	-	3	3,03	3,01	-	-
36.000	$\frac{CU^2}{2e}$	18,3	56,7	75	100	128	128
	$\int B dt$	-	4,55	4,78	4,45	4,38	3,16
120.000	$\frac{CU^2}{2e}$	33,3	100	135	178	225	225
	$\int B dt$	-	7	8,7	8,55	8,07	-

324.000	$\frac{CU^2}{2e}$	53,5	158	217	283	360	360
	$\int Bdt$	-	11,5	11,5	10,6	10,3	8

Из рассмотрения таблицы 3 следует, что максимальное значение интеграла яркости по времени на протяжении вспышки практически одинаково для всех ламп диаметром до 12 мм и несколько снижается при еще большем увеличении внутреннего диаметра разрядной трубки. Оно монотонно возрастает с увеличением  $ce$ .

При конструировании осветителя для камер Вильсона, очевидно, целесообразно пользоваться максимальными емкостями питающих лампу конденсаторов.

Увеличение емкости, однако, ограничено 2 факторами: соответствующим снижением рабочего напряжения (приблизительно обратно пропорциональным  $\sqrt[4]{C}$ ), которое может приблизиться к напряжению зажигания ламп, и увеличением длительности вспышки до таких значений, при которых перестает обеспечиваться достаточная резкость снимков. В большинстве практических задач главную роль играет второй фактор, из-за которого в лампах меньшего диаметра (с большим сопротивлением) не может быть достигнут тот же интеграл яркости, что и в лампах с широкой трубкой. К сожалению, несмотря на наши неоднократные просьбы, насколько нам известно, до сих пор не проведена работа по уточнению зависимости качества снимков от длительности вспышки. Ориентировочно при разработке ламп нам задавался предел длительности 0,01 сек.

Увеличение длительности позволит повысить интеграл яркости и тем самым возможно увеличить количество информации, даваемой снимком за счет лучшей освещенности камеры, несмотря на ухудшение резкости. На основании таблицы 3 и формулы для длительности вспышки могут быть получены графики зависимости максимального интеграла яркости от внутреннего диаметра трубки при различных значениях  $\tau$ , приведенные на рис.7.

Помимо предела энергии, связанного с прочностью колбы лампы, для кварцевых ламп существует ограничение, связанное с мощностью вводов. Соответствующее исследование позволило установить следующую формулу энергии

$$\left(\frac{CU^2}{2}\right)_{\text{пред}} = \xi b^2 d^2 \frac{\rho l}{S}$$

где  $l$  - ширина и  $d$  - толщина плоскости молибденовой фольги служащей вводом в лампу, а  $\xi$  - константа, характеризующая структуру молибдена и лежащая в пределах от 4 до  $23 \cdot 10^7$  джоулей/ом.см<sup>4</sup>.

Срок службы импульсных ламп ограничивается обычно распылением катода и сильно зависит от энергии вспышки лампы. Он приблизительно определяется полной энергией, проходящей через лампу за все время ее работы. Благодаря применению в новейших лампах активированных катодов (пленка щелочного металла, блок-катоды с содержанием щелочно-земельных металлов), срок службы ламп в последнее время увеличен по крайней мере на порядок и исчисляется десятками тысяч



вспышек с максимально допустимой энергией. При малых энергиях срок службы может быть доведен до миллионов вспышек.

В настоящее время промышленностью выпускаются трубчатые импульсные лампы, характеристики которых приведены в табл.4. Мы предполагаем в 1958 г. разработать еще один тип прямой кварцевой лампы для освещения камер Вильсона. Было бы важно узнать - насколько полна разработка такой лампы удовлетворит запросы лабораторий эксплуатирующих камеры Вильсона.

Хотелось бы, чтобы к моменту уточнения технических параметров новой лампы был бы решен вопрос о максимально допустимой длительности вспышки. Также нам было бы важно получить от потребителей данные о поведении ламп в сильных магнитных полях с тем, чтобы если это нужно, повысить прочность ламп в этом отношении.

Помимо длинных прямых ламп для фотографирования камер Вильсона и других подобных приборов могут применяться кольцевые лампы (обозначение "ИФБ"), а также лампы с разрядной трубкой, сосредоточенной в малом объеме (обозначение "ИФК"). В таблице 4 приведены данные нескольких типов таких ламп уже выпускаемых промышленностью.

Таблица 4\*/

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАМПЫ

№ п/п	Т и п л а м п ы	Конструктивные данные			Предельные характеристики					Номинальный режим					
		Форма светящ. части	Габар. светящ. части	Ориен. сопро- тивл. лампы	Напр. зажиг.	Напр. само- про- боя	Сред- няя мощн.	Фак- тор на- груз- ки	Срок служ- бы	Энерг. вспыш- ки	Раб. напр.	Емк. пит. конд.	Интерв. между вспыш- ками	Ориент. длит. вспыш- ки	Световая энергия вспышки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
			мм	ом	в	в	вт	мкф.кв <sup>4</sup>	т.всп.	дж	в	мкф	сек	мсек	лм.сек
1.	ИФК 20	прям.	4x10	0,16	100	700	2	1	10	20	130	2500	10	0,2	200
2.	ИФК 50	"	4x20	0,32	140	1000	5	6	10	50	200	2500	10	0,4	700
3.	ИФК 120	обр.	5x23x30	0,8	180	1000	12	25	10	120	300	2500	10	1	2500
4.	ИФК 500	спир.	30x45	4	400	3500	30	250	10	500	500	4000	15	8	10000
5.	ИФК 2000	-обр.	9x70x40	0,45	250	2000	300	1000	5	2000	500	16000	15	4	60000
6.	ИФБ 300	кольцо	65x6	2,5	240	1500	40	250	10	300	300	6500	7,5	8	5000
7.	ИФП 200	прям.	5x200	2	450	2000	27	600	10	200	500	1600	7,5	1,6	3500
8.	ИФП 500	"	5x350	3,5	450	3000	65	3200	10	500	500	4000	7,5	7	10000
9.	ИФП 1500	"	5x600	6	900	4000	100	17500	10	1500	1000	3000	15	9	35000
10.	ИФП 4000	"	6x800	8	1300	5000	270	32000	10	4000	1400	4000	15	16	120000
11.	ИФП 15000	"	9x600	1,8	1600	5000	1250	200000	10	15000	2400	5000	12	4,5	500000
12.	ИСТ 10	-обр.	4x23x30	-	180	1000	10	20	20	0,01	500	0,08	0,001	0,007	0,01

\*/ Опубликовано в журнале "Радио" № 1 1958 г. стр. 53

Было бы желательно узнать - насколько предложенная система типов импульсных ламп удовлетворит запросы потребителей в ближайшие годы, а также услышать конкретные предложения по корректировке параметров отдельных типов.

Я думаю, что в такой большой аудитории вряд ли можно будет окончательно установить рабочие параметры. Я обращаюсь к Оргкомитету совещания с просьбой о том, чтобы была создана рабочая группа, которая могла бы с нашим электроламповым заводом согласовать технические требования на разработку ламп для освещения камер.

Мне казалось, что было бы правильно, помимо разработки ламп, организовать где-то единую разработку и выпуск приборов включения к таким лампам. Сейчас, насколько я знаю, все лаборатории делают сами приборы включения, если не считать завода "Физприбор", который выпускает небольшое количество осветителей. Если бы была создана где-то разработка и выпуск их, то можно было бы избежать многих лишних затрат.

### Д и с к у с с и я

Горбунов (ФИАН).

Могут ли быть использованы импульсные лампы, которые обычно применялись для импульсного освещения камер, для непрерывного освещения камеры при визуальном наблюдении ее.

и-32071

И.С.Маршак.

Все импульсные лампы можно применять в стробоскопическом режиме с малой емкостью, так что глаз воспринимает эту лампу как непрерывный источник света. Схема довольно несложная.

Как раз сегодня в Лаборатории высоких энергий мне товарищи говорили, что они наладили работу лампы для визуальной подсветки на 50 герц.

Я говорил о том, что стробоскопический режим возможен и допускает еще большие частоты. Эти лампы допускают 4 тыс. вспышек в секунду. Но для такой цели достаточно обычной, с уменьшением напряжения, емкости.

Н.А.Добротин. (ФИАН)

Чем вы руководствовались, когда выбирали конструкцию электродов, подводящих напряжение к лампе? Они сделаны таким же образом, как колпачки у самых маломощных радиоламп. Поэтому туда нужно либо подпаивать провод, что неудобно, либо устраивать хитрую систему зажимов. Казалось бы, что там нужно сделать что-нибудь покрепче.

И.С.Маршак.

Мы делали так эти лампы: согласовали цоколи; проверили, что они по току и по нагрузке выдерживают режим. Они не рассчитаны на припайку, а рассчитаны на пинцетные держатели.

Н.А.Добротин.

А для пинцетных держателей нужен очень толстый провод?

Не нужен, нужны 2-3 пинцетных держателя. Во всяком случае, ваше высказывание - это первое нареkanie в этом отношении и мы можем пересмотреть вопрос о конструкции держателей.

МЕРЗОН (ФИАН).

Несколько слов об опыте применения импульсных ламп. Импульсная лампа является довольно гибким прибором. У нас т.Елисеев показал, что ее можно включать в режим постоянного свечения, когда в лампе проходит тонкий гибкий шнур, правда, очень мягкий. С помощью такого постоянного горения импульсной лампы можно настраивать камеру Вильсона очень удобно. Кроме того, легко запустить ее в стробоскопический режим, подав на поджигающий электрод серию импульсов от трансформатора, частота которого создается мультивибратором с помощью тиратрона.

И последнее замечание: иногда удобно применять такую лампу без поджигающего электрода. Мы просто ставим около лампы рамку из тонкой проволоки, которая служит своего рода антенной для создания ионизации вокруг лампы, примерно на расстоянии 2 см от центра лампы. Когда подавался на такую антенну импульс от обычной обмотки, лампа хорошо поджигалась и горела как в импульсном режиме, так и в стробоскопическом.

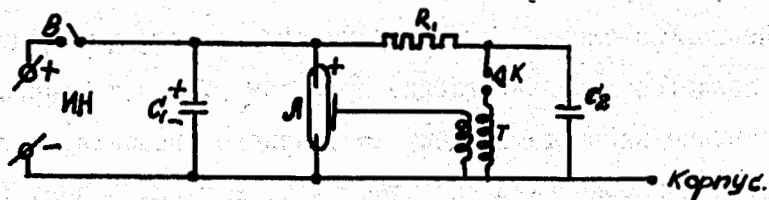


Рис. 1. Простейшая схема включения импульсной лампы. ИН - источник постоянного тока, В - выключатель,  $C_1$  - конденсатор питания лампы, накапливающий энергию в промежутке между вспышками, Л - импульсная лампа,  $R_1$  - разделяющее сопротивление,  $C_2$  - конденсатор питания импульсного трансформатора, Т - импульсный трансформатор, К - управляющий ключ.

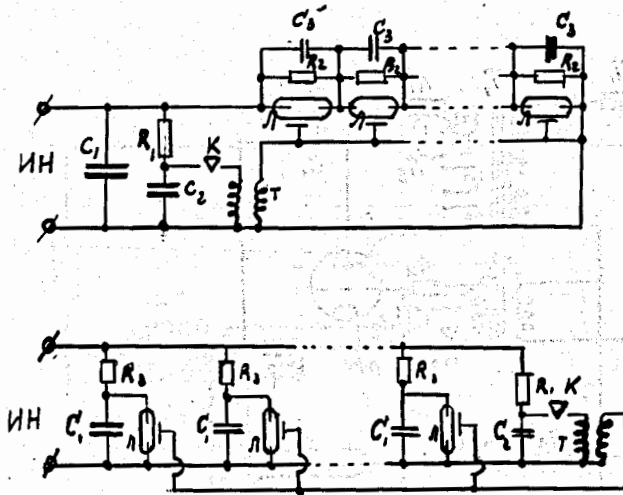


Рис. 2. Схемы последовательного и параллельного включения нескольких импульсных ламп. Цепочка  $R_2 - C_3$  - делитель напряжения ( $R_2 \sim 1$  мегом,  $C_3 \sim 0,5$  мкФ).  $R_3$  - зарядные сопротивления, по порядку величины равные  $T/C_1$  ( $T$  - интервал между вспышками в сек).

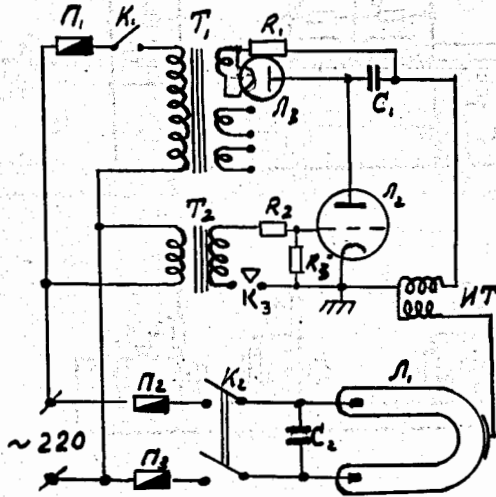


Рис. 3. Схема бесконденсаторного питания импульсной лампы ИФК 2000.  $L_1$  - лампа ИФК 2000,  $L_2$  - тиратрон ТРИ-130/10;  $L_3$  - кенотрон 2Ц2С;  $C_1$  - 1 мкФ, 1000 в;  $C_2$  - 8 мкФ, 500 в;  $R_1$  - 70 ком, 2 вт;  $R_2$  - 1 ком, 1 вт;  $R_3$  - 20 ком, 0,5 вт;  $T_1$  - трансформатор 220/600; 2,5; 6,3 в;  $T_2$  - пик трансформатор: I обм - 1800 витков  $\varnothing$  0,38 мм, сечение железа 8 см<sup>2</sup>, II обм - 2500 витков  $\varnothing$  0,1 мм, сечение железа 1 см<sup>2</sup>;  $K_1$ ,  $K_2$  - выключатели;  $K_3$  - датчик импульсов; ИТ - импульсный трансформатор,  $\Pi_1$  предохранитель 0,5 а, 250 в;  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$  - предохранители специальные (параллельно 8 проволок из меди  $\varnothing$  0,2 мм, длиной 50 мм).



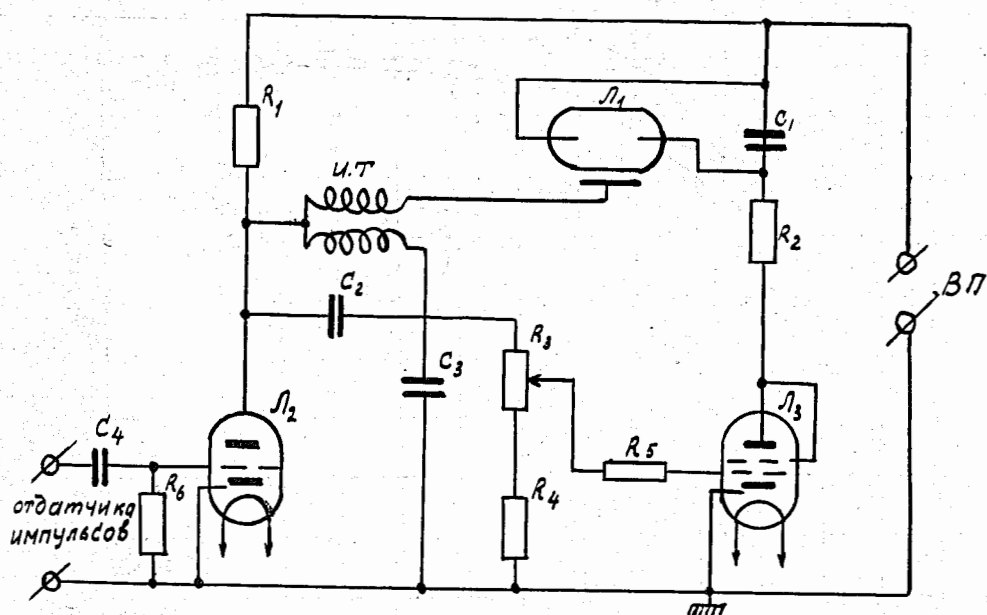


Рис.4. Схема питания импульсной лампы ИСТЮ при частоте вспышек до 4000 герц, обеспечивающая задержку роста напряжения на конденсаторе сразу после вспышки (разработана В.П.Ивановым). Л<sub>1</sub> - лампа ИСТЮ, Л<sub>2</sub> - тиратрон ТГИ-35/3, Л<sub>3</sub> - лампа 6ПЗС; С<sub>1</sub>, С<sub>3</sub> - конденсатор 0,08 мкф; 500 н; С<sub>2</sub>, С<sub>4</sub> - 2000 пф; 500 в; R<sub>1</sub> - 5 ком, 25 вт; R<sub>2</sub> - 1 ком; 25 вт; R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> - 100 ком, 2 вт; R<sub>5</sub> - 20 ком, 2 вт; R<sub>6</sub> - 100 ком, 0,5 вт; ВП - выпрямитель 700 в, 50 вт, ρ ≤ 5%, ИТ - импульсный трансформатор СУ5.142.001.

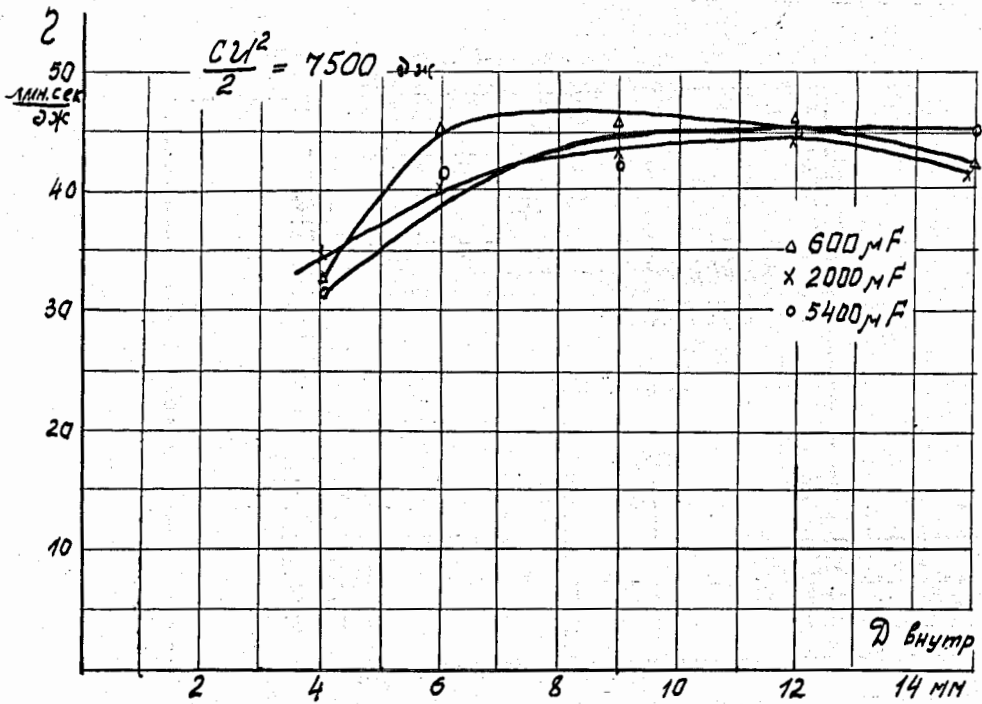


Рис. 5. Зависимость к.п.д. от внутреннего диаметра разрядной трубки длиной 600 мм при давлении ксенона 150 мм рт.ст. и различных емкостях питающего конденсатора (для одинаковых энергий вспышек, равных 7500 джоулей).

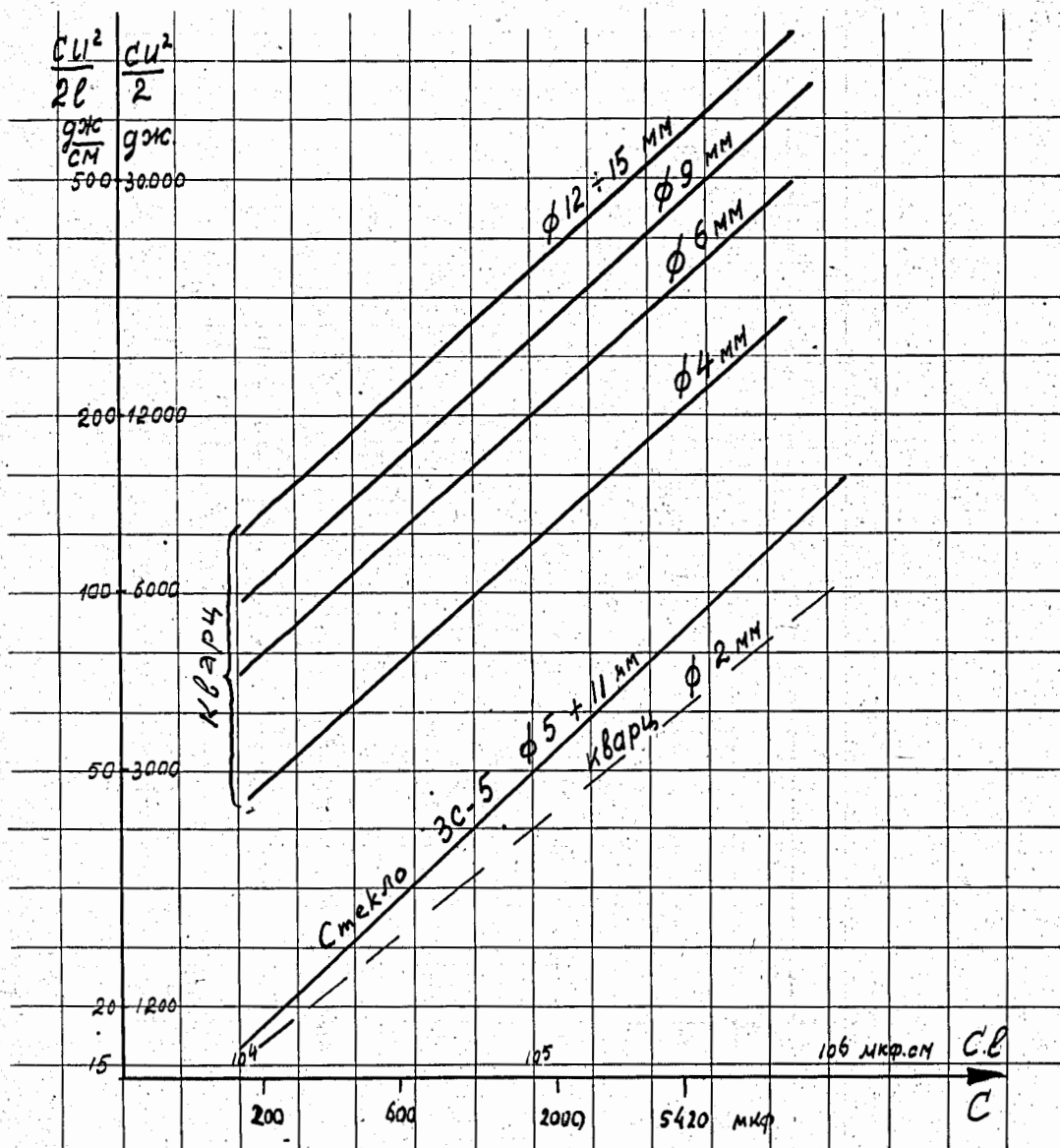


Рис.6. Графики зависимости предельной энергии вспышки, отнесенной в 1 см длины трубки от величины  $C\varepsilon$  (ксенон,  $r=150 \text{ мм}$  рт.ст.,  $\varepsilon = 600 \text{ мм}$ , 4 вспышки в минуту).

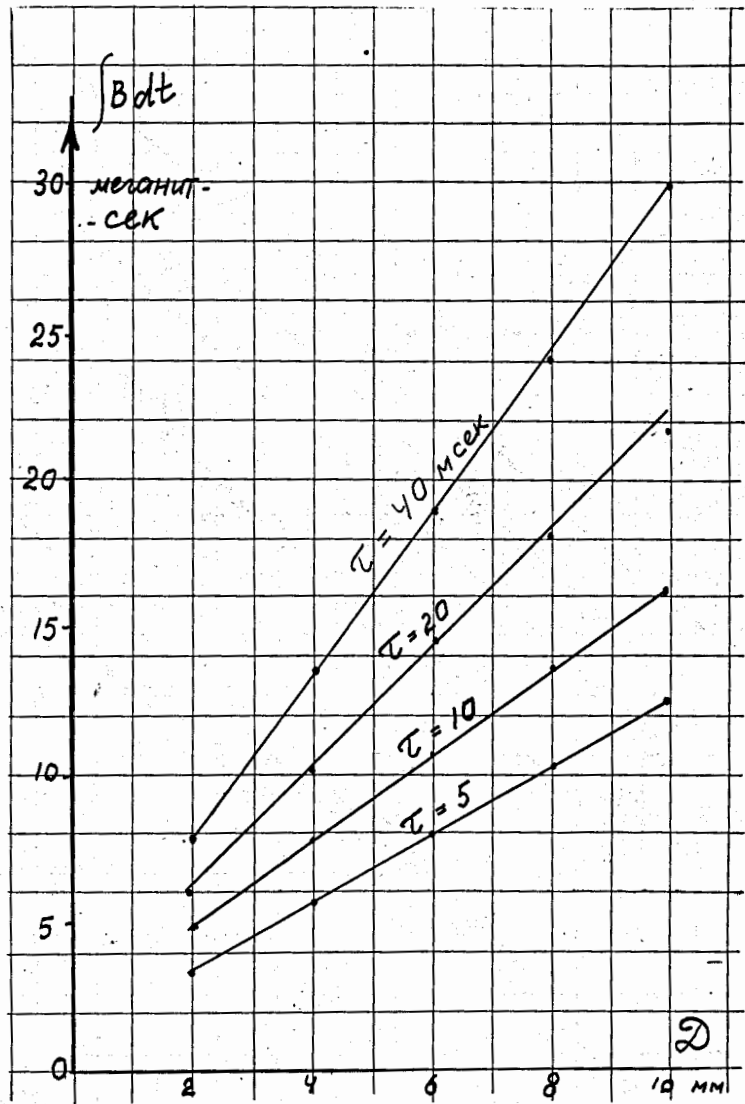


Рис. 7. Графики зависимости максимального интеграла яркости от диаметра трубки при различных значениях  $\tau$ .

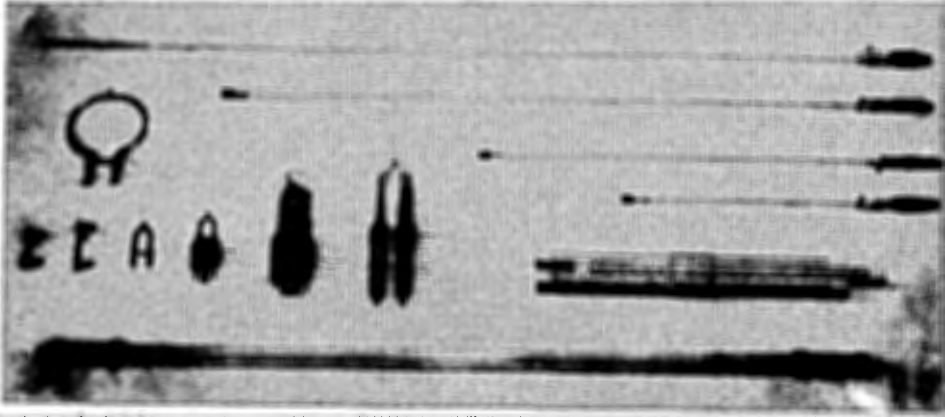


Рис.8. Фотография нескольких типов импульсных ламп  
Московского Электrolампового завода.

Библиография

1. И.С.Маршак. Отечественные импульсные лампы. Приборы и техника эксперимента 1957г., № 5.
2. А.А.Букарева и А.Л.Вассерман. О схемах питания импульсных ламп в режиме часто повторяющихся всплесков. Светотехника 1957, № 3, стр.14.
3. И.С.Маршак, В.А.Субботин. Зависимость напряжения зажигания импульсных ламп от чистоты наполняющего газа. Сборник материалов по вакуумной технике. Вып.ХШ, стр.12 и 28, 1957 г., Госэнергоиздат.
4. И.С.Маршак. Электрические характеристики импульсных ламп. Светотехника 1957г., № 6, стр.22.
5. И.С.Маршак. Коэффициент полезного действия трубчатых импульсных ламп. Светотехника. 1957, № I, стр.17.
6. В.И.Васильев, И.С.Маршак. Пределы нагрузки трубчатых импульсных ламп. Сборник материалов по вакуумной технике, вып.ХIV (печатается), Госэнергоиздат.

СОВРЕМЕННЫЕ НЕГАТИВНЫЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

И СПОСОБЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Ю.Ш.Мошковский

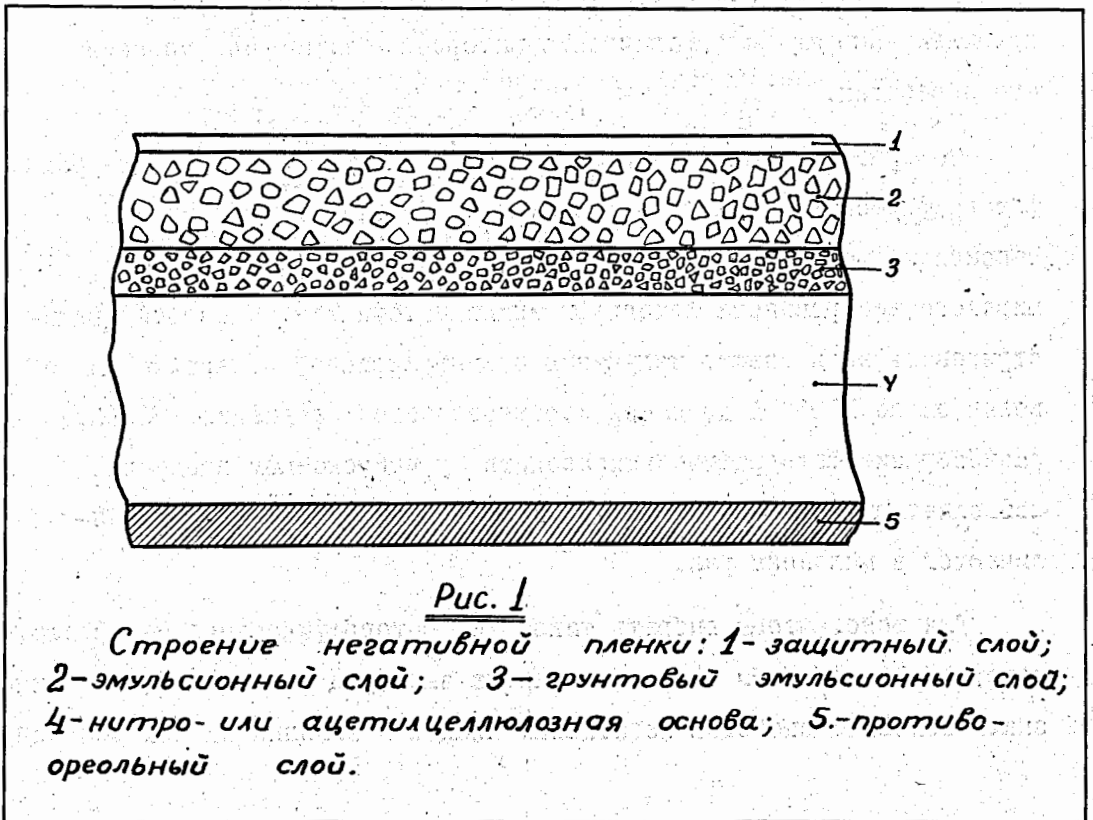
(Всесоюзный Научно-исследовательский кинофотоинститут)

Успешное применение фотографического метода в исследовательской работе в значительной степени определяется тем, насколько правильно выбран фотографический материал и подобраны условия его обработки.

Совершенствование технологии изготовления галоидно-серебряных фотографических эмульсий и разработка эффективных красителей сенсibilизаторов позволили в настоящее время наладить выпуск широкого ассортимента фотографических материалов, способных регистрировать весь спектр излучения от инфракрасной области с длиной волны около 10000 А до самой коротковолновой радиации. Большое разнообразие фотографических свойств у выпускаемой продукции позволяет регистрировать излучения, интенсивности которых различаются в миллионы раз.

Для того, чтобы выбрать такой тип фотографического материала, который обеспечил бы получение снимка высокого качества, необходимо знать основные свойства негативных пленок и влияния на них условий

химико-фотографической обработки. Целью настоящего сообщения является обзор основных сортов негативных фотографических материалов, выпускаемых промышленностью Советского Союза, и способов их проявления. На основе изложенного материала можно будет выбрать наиболее подходящие сорта пленок для съемок следов ионизирующих частиц в вильсоновских, диффузионных и пузырьковых камерах, а также дать некоторые рекомендации по проявлению экспонированных негативных пленок.





Строение негативной пленки. На рис. I схематически показано строение негативной пленки. Главными частями пленки являются прозрачная нитро-или ацетилцеллюлозная основа и нанесенная на нее светочувствительная эмульсия, представляющая собой желатиновую пленку с диспергированными в ней кристалликами галоидного серебра. Обычно, на основу поливают два эмульсионных слоя из задубленной желатины, предохраняющей светочувствительный слой от механических повреждений. С обратной стороны основы у кинонегативных фотографических материалов наносится противореольный слой, назначение которого состоит в том, чтобы поглощать прошедший через эмульсию свет. Поэтому он окрашен специальным красителем, который обесцвечивается в процессе химико-фотографической обработки.

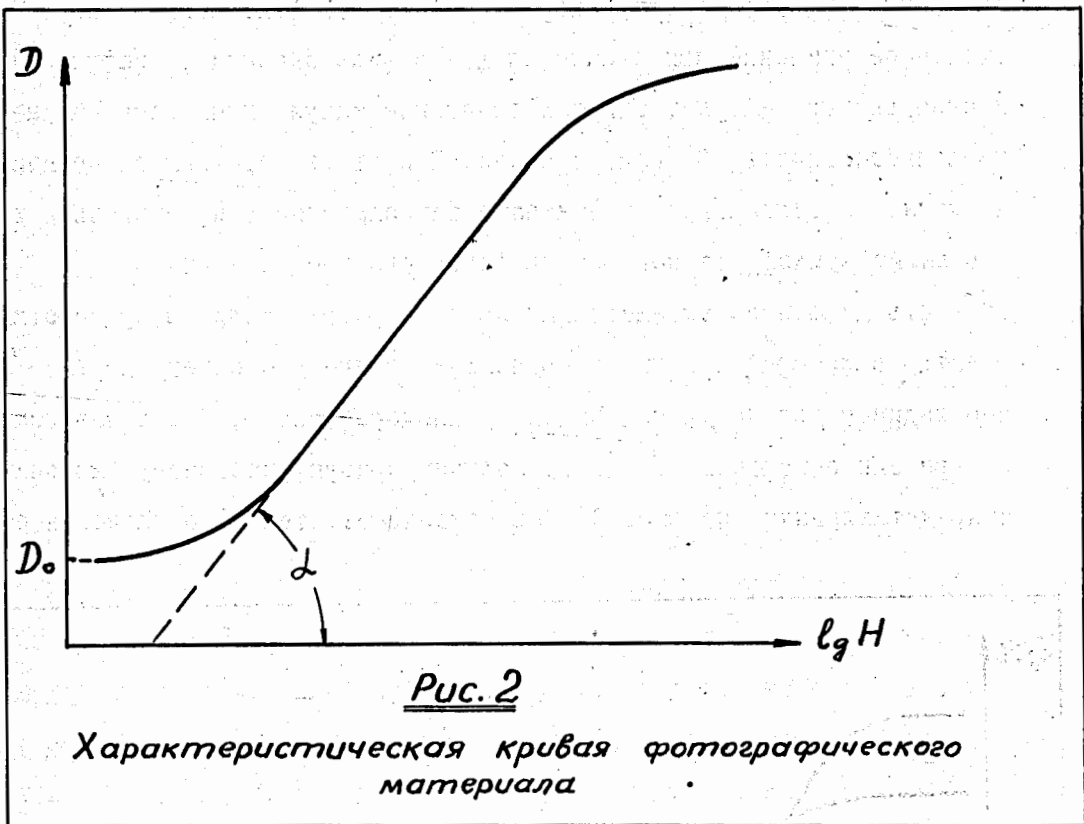
Следует иметь в виду, что зернистое строение светочувствительной эмульсии у фотографических материалов вызывает определенные ограничения в размерах регистрируемого объекта, что имеет большое значение при выборе негативной пленки для той или иной съемки, о чем подробнее будет сказано ниже. Размеры кристалликов галоидного серебра находятся в диапазоне 0,2 - 1,5 микрона, причем, как правило, чем выше светочувствительность фотографической эмульсии, тем больше размер кристалликов галоидного серебра.

#### Характеристика негативных фотографических материалов

Основными параметрами, которые характеризуют свойства фотографических материалов, являются:

- 1) светочувствительность
- 2) коэффициент контраста
- 3) оптическая плотность вуали
- 4) цветочувствительность
- 5) разрешающая способность
- 6) зернистость.

Первые три параметра определяются из характеристической кривой фотографического материала, которая строится по данным денситометрического испытания. Последнее заключается в том, что пленку экспонируют в стандартных условиях через ступенчатый клин с известной константой. После проявления на пленке получаются соответствующие ступенчатые полосы почернения, оптическая плотность которых измеряется на денситометре. Каждое почернение, таким образом, получено от известного количества освещения. Если построить график зависимости оптической плотности почернения от логарифма экспозиции, то получают известную характеристическую кривую, показанную на рис.2. Светочувствительность  $S$  является величиной, показывающей какое количество освещения  $E = Jt$  вызывает после проявления заданную оптическую плотность  $D$ . В системе ГОСТ 2817-50 в качестве величины  $D$  принята оптическая плотность, соответствующая  $0,2 + D_0$ , где  $D_0$  - оптическая плотность вуали. Очевидно, что чем меньше количество освещения  $E$ , для получения заданной оптической плотности, тем выше светочувствительность



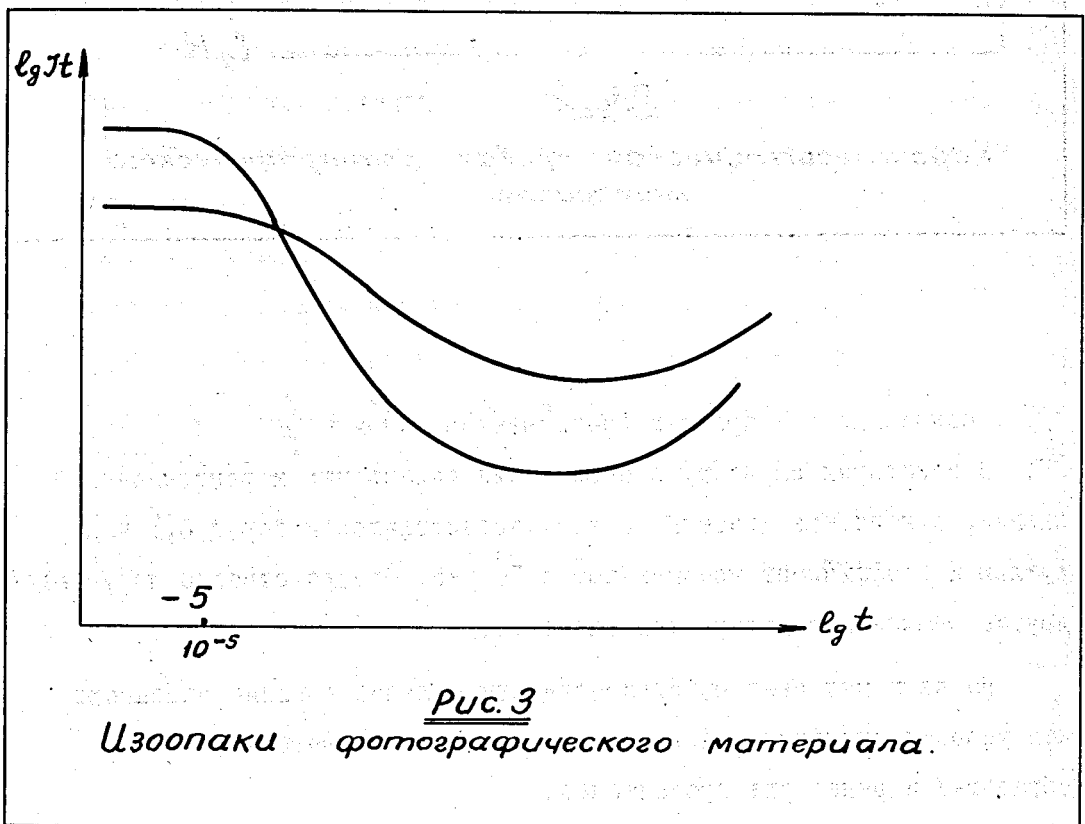
$S$ , связанная с  $E$  простым соотношением  $S_s = \frac{I}{E}$ .

В некоторых случаях, особенно для авиапленки и рентгеновской пленки, в качестве критерия светочувствительности берут 0,5 над вуалью и коэффициент увеличивают в 10 раз. Соответственно получаются другие значения светочувствительности.

На величину светочувствительности большое влияние оказывают как условия экспонирования, так и режим химико-фотографической обработки и рецептура проявителей.

К условиям экспонирования относятся: спектральный состав источника освещения, интенсивность и продолжительность действия

света на фотографический материал. Последний фактор имеет перво-  
степенное значение при съемке следов в вильсоновских, диффузионных  
и пузырьковых камерах, так как освещение импульсными лампами имеет  
продолжительность  $10^{-4}$  сек. и менее. При столь коротких экспозициях  
наблюдается отклонение от закона взаимозаместимости, вызванное тем,  
что лимитирующей стадией фотографического процесса становится  
скорость диффузии междоузельных ионов серебра. Если мы будем откла-  
дывать в логарифмических координатах количество освещения  $E = \mathcal{I}t$ ,  
необходимое для получения заданного почернения  $\mathcal{D}$ , в зависимости  
от времени освещения  $t$ , то получим кривую, называемую изоопак  
и представленную на рис. 3. Она показывает степень отклонения от

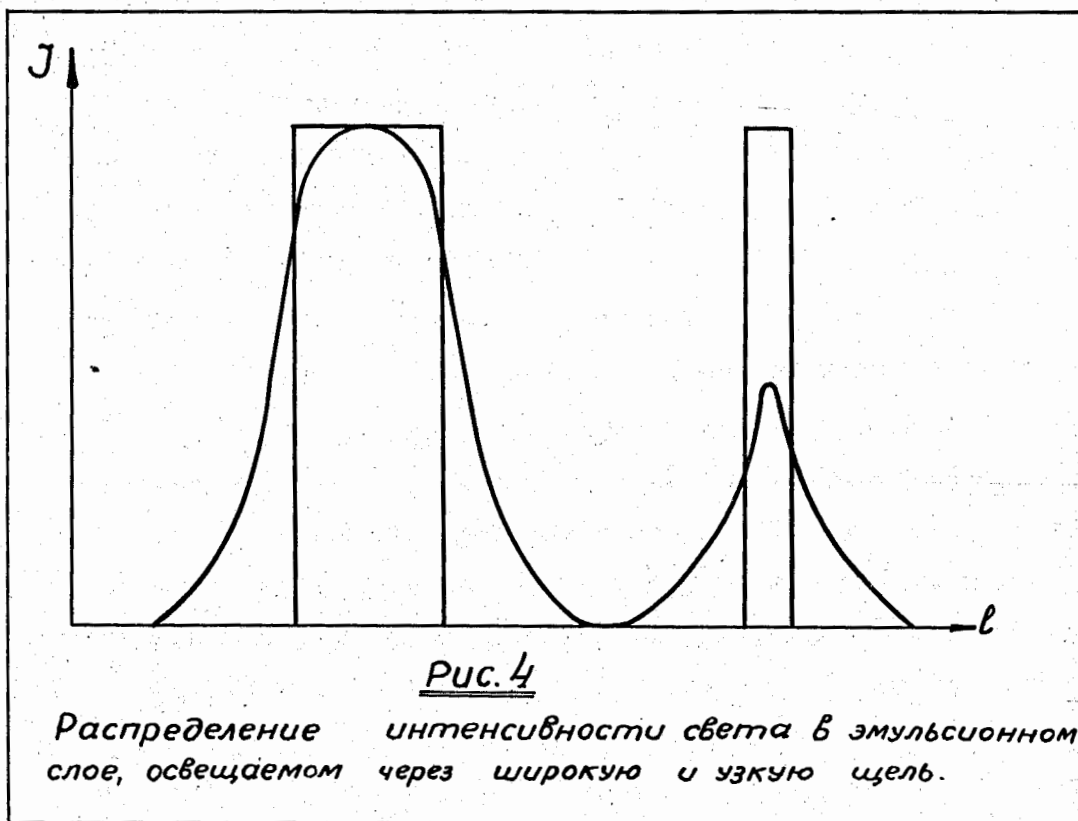


закон взаимозаменяемости. Как можно видеть из кривой при временах освещения, меньших, чем  $10^{-5}$  сек, закон взаимозаменяемости наблюдается, но высота плато у разных фотографических материалов будет различна, так как светочувствительности их при импульсном освещении различны. Согласно стандартным сенситометрическим испытаниям продолжительность освещения устанавливается равной 0,05 сек. Из кривых рис.3 видно, что более светочувствительный фотографический материал в этих условиях засветки может оказаться менее светочувствительным в условиях импульсного освещения. Таким образом для правильного выбора фотографического материала, предназначенного для съемок следов ионизирующих частиц в вильсоновских, диффузионных и пузырьковых камерах, следует определить его светочувствительность при освещении импульсной лампой. Это нетрудно сделать, имея нейтрально-серый оптический клин и производя разряд при строго определенной разности потенциалов, обеспечив тем самым воспроизводимую интенсивность освещения.

Не менее важное значение, чем светочувствительность, имеют также коэффициент контрастности и разрешающая способность.

Вернемся к рис.2. Коэффициент контраста  $\rho$  определяется величиной приращения оптической плотности  $\Delta D$  при изменении экспозиции на  $\Delta E$ . Вследствие прямолинейности средней части характеристической кривой у большинства фотографических материалов коэффициент контраста численно равен тангенсу угла наклона  $\alpha$ . На величину  $\rho$  существенное влияние оказывают

тип фотографического материала и рецептура проявителя. Для регистрации следов ионизирующих частиц необходимо иметь возможно более высокий контраст фотографического материала, так как рассеянный от капелек свет незначительно отличается по своей интенсивности от фона. Другая причина, вызывающая необходимость получения большого контраста, заключается в том, что снимаемый объект имеет небольшие поперечные размеры. В этом случае из-за рассеяния света в эмульсионном слое интенсивность света в узком изображении будет меньше, чем в широком, как это можно видеть из рис.4. Таким образом проявленное изображение объекта съемки малого



размера будет иметь меньшую оптическую плотность, по сравнению с изображением большого размера, несмотря на одинаковую интенсивность освещения. Уменьшение оптической плотности изображения наблюдается тогда, когда яркость фона больше яркости объекта съемки. Если же яркость фона меньше яркости объекта съемки, то наблюдается увеличение оптической плотности изображения, причем этот эффект выражен более резко, чем первый. Поэтому для съемок по методу светлого поля следует рекомендовать фотографический материал с более высоким контрастом, чем для съемок по методу темного поля.

Разрешающая способность фотографического материала измеряется наибольшим числом линий на миллиметр, которые еще можно различить. Величина разрешающей способности зависит как от контраста объекта съемки, так и от размеров кристалликов галоидного серебра фотографической эмульсии: чем меньше они, тем выше разрешающая способность. Поэтому разрешающая способность связана с величиной светочувствительности, а именно: чем выше светочувствительность, тем ниже разрешающая способность. Уменьшение контраста объекта съемки приводит к снижению числа разрешаемых линий. Обычно величина разрешающей способности определяется фотографированием миры абсолютного контраста, благодаря чему получаются максимальные величины, обычно не достигаемые в практической работе.

Особенность съемки следов ионизирующих частиц в камерах заключается в том, что необходимо обеспечить достаточную глубину фокуса, зависящую от размеров камеры. Это, как известно, производится диафрагмированием объектива, причем критическое значение апертуры  $A_k$  определяется соотношением:

$$A_k = \left(1 + \frac{1}{m}\right) \left(\frac{2\lambda}{\Delta h}\right)^{1/2}$$

где  $m$  - увеличение масштаба.

$\lambda$  - длина волны света.

$\Delta h$  - размеры камеры по глубине.

Очевидно, что чем меньше  $A_k$ , тем меньше света проходит через объектив и тем более светочувствительным должен быть выбранный фотографический материал. С другой стороны, чем меньше величина  $m$ , тем больше может быть критическая апертура. Но величина  $m$  определяется разрешающей способностью фотографического материала, так как наименьшим практически используемым значением  $m$  является такое, при котором ширина изображения следа равна ширине самой тонкой линии, воспроизводимой на применяемой пленке. Поскольку, как было упомянуто выше, разрешающая способность и светочувствительность находятся в обратном отношении, необходимо в выборе фотографического материала принимать компромиссное решение.

Из изложенного следует, что для фотографирования следов ионизирующих частиц необходим фотографический материал, имеющий максимальные значения светочувствительности, контраста и разрешающей способности. Остальные параметры, характеризующие фотографический материал, как-то-зернистость и цветочувствительность, не играют существенной роли в оценке пригодности пленки к фотографированию следов в вильсоновских и пузырьковых камерах.



В таблице I представлены основные характеристики наиболее распространенных пленок, выпускаемых в Советском Союзе и двух пленок зарубежных фирм Кодак и Ильфорд. Из таблицы очевидно, что высокочувствительные кинонегативные сорта применять нежелательно, так как они имеют небольшой контраст, а пленка Тип-В, кроме того, — малую величину разрешающей способности. Пленка ФТ-32 имеет большую разрешающую способность и высокий контраст, но весьма низкую светочувствительность. Наиболее подходящими фотографическими материалами, по нашему мнению, являются три пленки: Тип-II, Тип-IO и РФ-3. Выбор между первыми двумя фотографическими материалами может быть сделан только в условиях практической работы, так как пленка тип-II приблизительно в два раза превосходит пленку тип-IO по разрешающей способности, но зато уступает ей по величине светочувствительности. Пленка РФ-3 отличается от двух упомянутых фотографических материалов своей светочувствительностью. Поскольку свет от импульсной лампы богат синими и зелеными лучами, то изохроматическая сенсibilизация пленки РФ-3 может оказаться выгоднее панхроматической сенсibilизации пленок тип-IO и тип-II, имеющих провал в чувствительности к зеленой части спектра.

Химико-фотографическая обработка негативных пленок. В этом разделе мы кратко рассмотрим три вопроса.

I. Возможность увеличения светочувствительности в процессе проявления.

Т а б л и ц а I

Основные фотографические характеристики негативных пленок

Название пленки	Свето-чувствит.	Контраст	Вуаль	Разреш. способность	Цветочувствительность
Кинонегатив № 3	32	0,8	0,08	90	Изопанхром
Кинонегатив В	180	0,8	0,15	65	"-
РФ-3	160	2,0	0,08	85	Изохром
Тип-II	160	2,0	0,15	140	Панхром
Тип-10	360	2,0	0,20	70	Панхром
ФТ-32	11	3,0	0,05	140	Изопанхром
Кодак три-X	360	0,8	0,15	70	"-
Ильфорд HP	360	0,8	0,20	60	"-

2. Применение малогабаритной проявочной машины

3. Сверхбыстрая химико-фотографическая обработка .

Прежде чем перейти к изложению этих вопросов, необходимо упомянуть, что вообще говоря, имеются два вида химико-фотографической обработки. Один из них, наиболее распространенный, приводит к получению негатива и состоит из всем известной последовательности операций:

- 1) проявление
- 2) промывка
- 3) фиксирование
- 4) промывка

а другой, называемый "проявление с обращением", приводит к непосредственному получению позитива и состоит из следующих операций:

- I) первое проявление
- 2) промывка
- 3) отбеливание металлического серебра
- 4) промывка
- 5) осветление
- 6) промывка
- 7) засвечивание
- 8) второе проявление
- 9) промывка
- 10) фиксирование
- II) промывка.

Следует отметить, что для удобства просматривания большого количества снимков в зависимости от способа освещения (белое или темное поле) может оказаться рациональным применение способа проявления с обращением, несмотря на его сложность. Дальнейшее изложение будет касаться только нормального проявления.

Увеличение светочувствительности в процессе проявления.

В настоящее время имеется громадное количество рецептов проявляющих

растворов, позволяющее в довольно широких пределах варьировать величины светочувствительности, контраста и зернистости. В так называемых мелкозернистых проявителях, однако, негативная пленка проявляется до низкого контраста и по этой причине их нельзя рекомендовать для обработки снимков следов ионизирующих частиц. В качестве типового можно применять метол-гидрохиноновый проявитель следующего состава:

Метол	.....	1 г
Сульфита безв.	.....	26 г
Гидрохинона	.....	5 г
Бромистого калия	.....	1 г
Соды	.....	20 г
Воды	.....до	1 л

в котором высокий контраст достигается уже при 6-8 минутах проявления.

В период второй мировой войны появились указания на то, что добавление в проявитель некоторых производных гидразина, например, гидразинсульфата, может существенно повысить светочувствительность, правда с одновременным ростом вуали и зернистости. Исследование действия гидразинсульфата в процессе проявления привело к выбору следующих оптимальных условий работы. К вышеприведенному метол-гидрохиноновому проявителю необходимо добавить на 1 литр 0,2 г гидразинсульфата и 0,1 г бензотриазола, который является сильно действующим антивуалирующим веществом. Употреблять

такой проявитель следует лишь после 3-5 часов выстаивания при комнатной температуре. В этом случае отмечалось более чем двукратное повышение светочувствительности и довольно существенное возрастание зернистости. Последнее обстоятельство, по-видимому, не должно заметно понизить качество снимка ионизирующих частиц, так как каждое изображение капельки по существу является единичным агрегатом проявленных зерен, т.е. зерном. Конечно, только практическая проверка предлагаемого метода проявления, особенно при использовании пленки тип -II, может дать ответ о его целесообразности.

Применение малогабаритных проявочных машин. При массовой работе с камерами, когда количество произведенных снимков достигает тысяч, можно рекомендовать применение малогабаритной проявочной машины 60П-I, общий вид которой показан на рис.5. В этом случае помимо облегчения громоздкой операции химико-фотографической обработки пленки, надо ожидать сильного повышения стандартности получаемых характеристик, что не может не иметь значения для анализа получаемого материала. Основные характеристики проявочной машины 60П-I, рассчитанной на обработку 35 м пленки, следующие: габариты машины (длина 1195 мм, ширина 625 мм, высота 1600 мм) позволяют установку ее в любом помещении, а в экспедиционных условиях - на автомашине. Емкость кассеты-300 метров пленки. Машина работает на свету и имеет четыре скорости: 185, 98, 47 и 23,5 метр/час. Соответствующие времена прохождения пленкой тракта машины будут 22;43; 87 и 174 минуты. Вес машины около 500 кг.

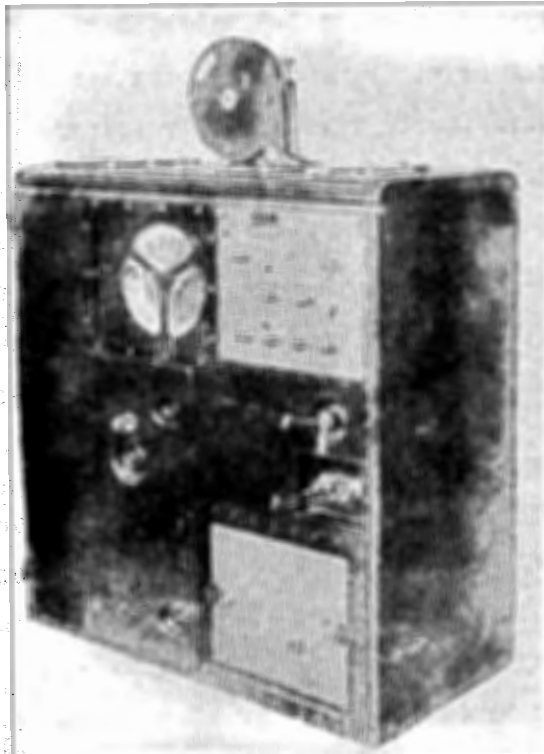


рис.5

Сверхбыстрая химико-фотографическая обработка и новые виды фотографии. В настоящее время разработана рецептура проявителей и способы обработки пленки, позволяющие получать изображение за 20-40 сек. и даже еще быстрее, причем проявление может заканчиваться в 1-2 сек. Нам кажется, что быстрая обработка фотографических материалов может в будущем представить определенный интерес для автоматизации процесса анализа следов на снимках, о чем несколько подробнее будет сказано ниже.

Как известно, скорость проявления сильно возрастает при увеличении щелочности раствора и повышении температуры. Эти два фактора обычно и используют для получения быстрых проявителей, как можно видеть, например, из рецепта проявителя-УД 27:

Вода (32°).....	750 мл
Метол .....	5 г
Гидрохинон .....	45 г
Сульфит натрия б/в .....	90 г
Едкий натр .....	40 г
Бромистый калий .....	10 г
Бензотриазол .....	1 г
Воды .....	до 1 л.

Время проявления при 50°С около 3 сек. Конечно при этом пленка должна быть хорошо задублена. В качестве быстрого фиксажа можно рекомендовать тиосульфит в количестве 200 г/л. Время осветления в нем достигает для негативных пленок 35-50 сек. Очевидно, что указанную сверхбыструю обработку можно производить лишь в специальном приборе, так как при таких временах ручное проявление становится невозможным.

В заключение коротко остановимся на возможности и перспективах применения новых фотографических методов в связи с автоматизацией анализа следов ионизирующих частиц в вильсоновских, диффузионных и пузырьковых камерах. Для обработки большого количества снимков технически представляется вполне возможным разработать специальное

электронное устройство со сканирующим приспособлением, автоматически анализирующее снимки. Очевидно, весьма заманчиво соединить такое устройство со съемочной камерой и быстрым получением изображения (порядка десятка секунд) с целью непосредственного получения результатов в процессе проведения опытов. Помимо применения обычных фотографических материалов в сочетании с описанной выше сверхбыстрой химико-фотографической обработкой, в перспективе можно наметить также использование электрофотографии, основанной на совершенно других принципах и в настоящее время находящейся в стадии интенсивной разработки. Электрофотография основана на том, что заряженный полупроводник (например, селен, окись цинка и т.п.) теряет свой заряд в тех местах, которые освещены светом. Так образуется электростатическое скрытое изображение, которое можно "проявить", распределяя на поверхности электрофотоматериала противоположно заряженные частицы красителя, например, порошки асфальта. Последовательность операций при электрофотографической съемке может быть следующей:

1. "Очувствление" электрофотографического материала производится проведением его под двумя проволочками, натянутыми параллельно слою полупроводника на расстоянии приблизительно 1 см. Проволочки находятся под высоким положительным потенциалом, достаточным для образования тихого разряда. При этом поверхность полупроводника приобретает поверхностный положительный заряд. Продолжительность этой операции несколько секунд.

2. Непосредственно после очувствления производится съемка.



3. Скрытое электростатическое изображение проявляется запылением черным смоляным порошком, заряженным отрицательно. Частицы порошка прилипают к полупроводнику в количестве, пропорциональном сохранившемуся положительному заряду. Продолжительность проявления несколько секунд.

4. Изображение "закрепляется" нагреванием в течение нескольких секунд, достаточным для расплавления порошка.

Таким образом из изложенного видно, что электрофотографический метод имеет целый ряд преимуществ перед обычным фотографическим методом, а именно:

- 1) отсутствие жидкой обработки
- 2) сокращение числа стадий для получения изображения
- 3) малая продолжительность получения изображения (порядка десятка секунд).

Неудобством электрофотографии обычно считают необходимость иметь высокое напряжение при съемке. Однако в применении к интересующему нас виду съемок в камерах это обстоятельство следует признать несущественным.

Имеются сведения, что в настоящее время уже достигнута светочувствительность, эквивалентная 60-90<sup>0</sup> обычных фотографических материалов при разрешающей способности порядка 70 мм<sup>-1</sup> и весьма высоком контрасте. Эти величины внушают надежду, что в скором времени электрофотография займет подобающее ей место в физическом эксперименте, в частности при съемке ионизирующих частиц в вильсоновских, диффузионных и пузырьковых камерах.

Д и с к у с с и я

Смолянкин (ТТЛ).

Не ведутся ли какие-нибудь разработки для борьбы с усадкой пленки?

Ю.Ш.Мошковский. (НИКФИ).

Существуют фотографические материалы политые на специальную основу, называемую безусадочной. У нее усадка во много раз меньше, чем у обычной пленки. В будущем, при переходе от нитроцеллюлозной основы или ацетилцеллюлозной основы на другие полимеры (например, терилен) усадка будет практически устранена. В настоящее время имеется возможность сильно снизить усадку. Но для этого необходимо специально просить полить данную эмульсию на такую основу.

Н.А.Добротин. (ФИАН).

Я просил бы уточнить относительно проявочной машины: находится ли она в серийном производстве, кто ее производит и как ее получить?

Ю.Ш.Мошковский (НИКФИ).

Вы хотите сказать - как ее купить? Точно сказать, как ее купить, я не могу. Но она изготавливается заводом "КИНАП" Министерства культуры, причем она, по-видимому, не очень дорога.

М.В.Стабников. (ЛФТИ)

Нельзя ли создать специальную пленку для различных экспериментов?

Ю.Ш.Мошковский. (НИКФИ).

Вообще, наиболее подходящей является пленка, применяемая в аэрофотографии. Дальнейшее усовершенствование этих пленок может быть использовано также для съемки ионизирующих частиц. Следует отметить, что съемка ионизирующих частиц относится к наиболее сложному случаю, так как требуемые характеристики взаимно исключают друг друга: надо иметь материалы наивысшей чувствительности: наивысшую контрастность, наивысшую разрешающую способность. Любой прогресс эмульсионной технологии несомненно приведет к улучшению материала.

Вопрос с места.

Какова емкость машины?

Ю.Ш.Мошковский (НИКФИ).

Емкость такова: - кассета - 300 метров пленки; машина работает на 4 скоростях: 185, 98,45,27,5 метр. в час. Соответствующее время прохождения пленкой тракта машины будет : 22,42, 187 и 174 мин. Машина работает на свету. Габариты машины таковы: длина 1195, ширина 1125, высота 1650 мм.

Никишичев В.Н. (ФИАН)

Вы ничего не сказали о широте фотографической эмульсии. Эта характеристика имеет, по-моему, довольно большое значение.

Ю.Ш.Можковский (НИКФИ).

Широта для фотометрических работ имеет первостепенное значение, так как необходимо, чтобы почернения при фотометрировании попали на прямолинейный участок характеристической кривой. Широта пленки определяется разностью логарифма верхнего и нижнего конца прямолинейного участка.

Следует сказать, что чем выше контраст, тем широта пленки меньше. И поэтому для фотометрирования чем выше контраст, тем пленка менее удобна, поэтому необходимо различать два метода обработки следа.

Если нужно только регистрировать следы, то контраст может быть сделан весьма большим. Это вызывает улучшение качества трека на пленке. Если же пленка подвергается фотометрированию, то излишне большие контрасты будут вредны, так как почернение будет выходить за пределы прямолинейного участка и не поддаваться фотометрированию. В докладе я имел в виду случай, когда следы ионизирующих частиц получаются с трудом: не хватает светочувствительности. В этом случае нужно увеличивать контраст. Если же вы уверенно получаете следы и проводите фотометрическую работу, тогда, естественно, контраст должен быть снижен.

С места: А как это относится к аэрофотопленке?

Для аэрофотопленки контраст колеблется от 1,6 до 2,2. А широта - порядка 0,9. Если ее проявить в мелкозернистом проявителе, дащем меньший контраст, то широта увеличивается до 1,2.

Но я не уверен, что в этом случае будут проявляться следы всех частиц.

С места: Это зависит от проявления.

Контраст в значительной мере зависит от проявления. Однако он зависит и от сорта пленки.

Вопрос.

Как сильно может, по вашим данным, колебаться эта величина, при нормальном контрасте?

Мошковский.

Что такое нормальный контраст? Для съемки портретов или пейзажей нормальный контраст равен 0,6 - 0,8, а для рентгеновской съемки он больше 2,0.

Вопрос.

А если учесть время хранения пленки?

Мошковский.

Со временем хранения пленки дело обстоит более сложно. При хранении некоторые величины, характеризующие пленку, могут проходить через максимум. Контраст может сначала увеличиваться, потом сильно падать. Светочувствительность тоже может проходить через максимум. Поэтому случаи хранения я вовсе исключил из своего сообщения, чтобы не усложнять картину. Свежая пленка имеет диапазон контрастов следующий: нормальный контраст выпускаемых кинонегативных сортов - 0,65. Есть пленки специального назначения, фототехнические, имеющие контраст 3,5. Вот в этих пределах располагаются все сорта выпускаемой продукции.

Ю.А.Щербаков. (ЛЯП ОИЯИ).

Я хотел бы сказать несколько слов об опыте нашей работы с пленками, имеющими фотозмульсии различного полива. Мы имеем снимки в количестве порядка нескольких десятков тысяч и работали с самыми различными материалами и в различных условиях.

Тов. Стабников говорил, что необходимо разработать специальную пленку для фотографирования в камере. Не совсем так обстоит дело. Мне кажется, что существующая пленка Панхром - IO является достаточно удачной. Она может дать наивысшую разрешающую способность, которую только может дать современная оптическая промышленность при изготовлении объективов, и в то же время она имеет достаточно высокую чувствительность, чтобы обеспечить успешное фотографирование камеры. Единственный недостаток - это не очень хорошая чувствительность в области зеленой части спектра, а спектр импульсных ламп как раз сдвинут в более короткую область. Вторым недостатком заключается в том, что в пузырьковой камере размер объема меньше чем в других камерах, а пленка дает разрешающую способность 70 на I мм. Но тут положение облегчается тем, что есть возможность применить пленку Панхром-II, которая позволяет получать более высокую разрешающую способность для меньшей чувствительности.

Но как раз для пузырьковых камер вопрос освещения не так остро стоит, и имеется возможность использовать пленки с несколько пониженной чувствительностью.

У нас в лаборатории сейчас переходят уже к методу механического проявления, - проявления с помощью машины. До этого мы использовали

банки незначительных размеров. Сейчас получена машина несколько больших размеров, чем 60ПІ, о которой говорил т. Мошковский. Эта машина имеет марку 40ПІ. Она обладает очень большой производительностью и может обслуживать все лаборатории нашего Института.

Мошковский.

Я хотел бы ответить, что как раз пленка РФ-3 сделана на базе типа Ю, но с другой сенсibiliзацией, более выгодной для импульсного освещения. Мне кажется, нужно ее опробовать.

Д.А. Щербаков.

Сравнение по чувствительности показывает, что компенсация не получается.

Я еще забыл сказать об одном важном моменте, касающемся усадки пленки. Одним из серьезных требований для камерной съемки является получение пленки без усадки или с минимальной усадкой. Это основное требование, которое определяет специфику пленки. Поскольку для всех приборов для фотограмметрических измерений это требование является обязательным, то с этим приходится считаться.

Мошковский.

Пленку без усадки можно сделать после вашего заказа через одну-две недели.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТИВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СЪЕМКАХ В КАМЕРАХ ВИЛЬСОНА

М.М.Русинов

(Ленинградский институт точной механики и оптики)

Задачи изучения траекторий частиц, наблюдаемых в камерах Вильсона, диффузионных и пузырьковых камерах, требуют фотографирования следов этих частиц и определения по полученным фотографиям элементов траекторий.

Таким образом, поставленная нами задача самым естественным образом распадается на две следующие задачи:

1. Получение фотографий пространственных следов исследуемых частиц и
2. Измерение пространственных координат траекторий этих частиц.

Спецификой съемки, присущей как той, так и другой задаче, является прежде всего то обстоятельство, что объект съемки всегда расположен на конечном расстоянии от объектива. Часть пространства, подлежащая исследованию, будет изображаться на плоскости негатива за счет использования глубины изображения объектива. Характерным является и сам объект съемки - ряд незначительных по своей величине капелек или пузырьков, т.е. ряд светлых элементов на темном поле.



Нетрудно представить себе, что решение поставленных задач требует ознакомления со следующими вопросами:

1. Обеспечение физических возможностей образования изображения, обеспечение достаточных по своей величине экспозиций в различных участках поля зрения объектива, т.е. обеспечение соответственной светосилы объектива и сверхраспределения по полю зрения.

2. Обеспечение нужного качества изображения при заданной величине пространственного протяжения объекта съемки. Этот вопрос сводится к изучению зависимости между глубиной в пространстве съемки, величиной объекта и качеством изображения фотообъектива - его разрешающей способностью.

3. Обеспечение мерительных качеств снимка - этот вопрос сводится к получению достаточно больших стереоскопических параллаксов и к обеспечению достаточно хорошего исправления дисторсии при различном пространственном положении предмета.

4. Обеспечение некоторых конструктивных требований. Рамки настоящего сообщения, естественно, не позволяют сколько-нибудь детально рассмотреть все выше поставленные вопросы. Поэтому мы ограничимся либо приведением окончательных выводов, либо даже самой постановкой вопроса.

I. О светосиле при съемке светлого элемента на темном поле, расположенного вне плоскости наводки.

Рассмотрим чертёж I.

На этом чертеже -  $dS_0$  - элемент предмета, радиуса  $y_0$ , расположенный в плоскости наводки на расстоянии от зрачка входа, равном  $S_0$  ;

$dS'_1$  - тот же элемент предмета, но выведенный из плоскости наводки и расположенный от зрачка входа на расстоянии  $S'_1$  ;

$dS'_0$  - изображение элемента  $dS_0$  радиуса  $y'_0$  ;

$dS'_1$  - изображение элемента  $dS_1$  радиуса  $y'_1$  .

Полагая, что зрачок входа радиуса  $\rho_0$ , с площадью  $D_0 = \pi \rho_0^2$  совпадает с главными плоскостями объектива, мы можем легко определить световые потоки, входящие в систему от обоих элементов  $dS_0$  и  $dS_1$ . Соответственно имеем:

$$dF_0 = \frac{D_0 dS_0}{S_0^2} \beta; \quad dF_1 = \frac{D_0 dS_0}{S_1^2} \beta = dF_0 \left( \frac{S_0}{S_1} \right)^2$$

(1)

Величина кружка рассеяния  $2\sigma'$  от элемента  $dS'_1$  в плоскости изображения элемента  $dS'_0$  определяется по формуле:

$$2\sigma = 2\rho_0 \left( 1 - \frac{s_0'}{s_1'} \right) + 2y'_1$$

(2)

Полагая, что, в первом приближении, кружок рассеяния от элемента  $dS'_1$  освещен равномерно, найдем его освещенность  $E$ ,

$$E_1 = \frac{dF_1}{\pi \sigma^2} = \frac{dF_0 (S_0/S_1)^2}{\pi [\rho_0 (1 - S_0'/S_1') + y_1']^2} \quad (3)$$

и освещенность  $E_0$  для элемента  $dS_0'$  :

$$E_0 = dF_0 / \pi y_0'^2 \quad (4)$$

Составляя отношение освещенностей  $E_1$  :  $E_0$  , получаем:

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{S_0^2 y_0'^2}{S_1^2 [\rho_0 (1 - S_0'/S_1') + y_1']^2} \quad (5)$$

Формула (5) показывает, что при достаточно большом значении радиуса зрачка  $\rho_0$  величина освещенности  $E_1$  для расфокусированной точки будет меньше, нежели освещенность  $E_0$  для нерасфокусированной точки; небезынтересно, что при диафрагмировании освещенность  $E_1$  будет приближаться к освещенности  $E_0$  .

В случае, когда величиной  $y_1'$  , в виду ее малости, можно пренебречь по отношению к члену, содержащему  $\rho_0$  , формула /5/ принимает более простой вид:

$$E_1/E_0 = \frac{S_0^2 y_0'^2}{S_1^2 \rho_0^2 (1 - S_0'/S_1')^2} \quad (6)$$

или

$$E_1 = \frac{S_0^2 y_0'^2}{S_1^2 \rho_0^2 (1 - S_0'/S_1')^2} \frac{D_0 dS_0}{\pi y_0'^2 S_0^2} B = \frac{B dS_0}{S_1^2 (1 - S_0'/S_1')^2} = Const \quad (7)$$

Формула (7) показывает нам, что освещенность изображения расфокусированного элемента не зависит от диафрагмирования. При этом, одновременно, освещенность изображения сфокусированного элемента будет уменьшаться при диафрагмировании.

Этой особенностью можно воспользоваться в тех случаях, когда может возникнуть необходимость увеличения глубины в снимаемом пространстве.

## 2. О глубине с точки зрения волновой теории

С точки зрения геометрической оптики величина глубины изображения определяется величиной допустимого кружка рассеяния  $2\sigma$  (чертеж 2а). Нетрудно видеть, что эта величина будет связана с глубиной  $a$  и апертурным углом  $u$  следующим соотношением:

$$a = \frac{\sigma}{u_0} \quad (8)$$

Задаваясь же постоянной допустимой величиной разности хода  $\mathcal{E}$  (волновой абберацией  $\mathcal{E}$ , чертеж 2б), которую можно вычислить как разность стрелок сферических волн, исходящих от нерасфокусированного и расфокусированного элементов, получим:

$$\mathcal{E} = \frac{u_0^2}{2} \frac{a}{S_1} \quad (9)$$

Мы видим, что величина расфокусировки  $a$ , в первом приближении, при постоянном  $\mathcal{E}$ , будет изменяться обратно пропорционально квадрату апертуры.

Это явление особенно характерно тогда, когда мы имеем дело с малыми апертурами ( $2U_F$  0,02 и менее), например, в случае проекции изображения на стереомультимплексах и т.п.

### 3. Некоторые вопросы ортоскопии

а. Дисторсия при заданном увеличении.

Практически при работе объектива при том или ином положении предмета, обуславливающим то или иное увеличение, происходит некоторое изменение дисторсии. Величина этой дисторсии легко определяется по следующей точной формуле

$$\Delta y'_v = \overrightarrow{\Delta y'_F} + \nu \overrightarrow{\Delta y'_F^*} \quad (10)$$

Таким образом, дисторсия при заданном линейном увеличении  $\nu$  равна дисторсии  $\overrightarrow{\Delta y'_F}$  в фокальной плоскости объектива при предмете, лежащем в бесконечности, сложенной с произведением дисторсии в передней фокальной плоскости объектива (дисторсии в обратном ходе) на величину заданного увеличения.

б. Дисторсия плоскопараллельной пластинки.

В практике работы объективов на конечном расстоянии нередко встречается необходимость размещения плоскопараллельных пластинок как в пространстве предметов, перед объективом, так и в пространстве изображений, позади объектива.

Величина дисторсии, вносимой такими пластинками может быть определена по следующей известной формуле:

$$\Delta y' = \frac{d}{n} \left[ 1 - \frac{n \cos \beta'}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \beta'}} \right] \operatorname{tg} \beta'$$

где  $\beta'$  - угол главного луча с осью по выходе из объектива,  
 $d$  - толщина и  $n$  - коэффициент преломления пластины.

Если пластинка располагается за объективом, то величина дисторсии просто суммируется с дисторсией объектива; если пластинка расположена перед объективом, то тогда роль угла  $\beta'$  будет играть входной угол и полученная величина дисторсии пластинки должна суммироваться с величиной дисторсии  $\overline{\Delta y'_F}$  объектива в обратном ходе и, затем, после умножения на увеличение  $\nu$  согласно формуле (10), с дисторсией  $\overline{\Delta y'_F}$  в прямом ходе.

в. Исправление дисторсии с помощью деформирования нижней поверхности выравнивающего стекла (см. чертёж № 3).

В ряде случаев подбор плоскопараллельных пластинок по толщине позволяет исправить дисторсию в какой-либо одной точке (точнее зоне) поля, но не обеспечивает исправления дисторсии в других точках. В подобных случаях, для устранения таких остаточных зональных ошибок дисторсии можно прибегнуть к деформированию нижней поверхности пластинки, служащей для выравнивания пленки.

Задаваясь уравнением профиля деформированной пластинки в виде

$$x = Ay^2 + By^4 + \dots \dots \dots \quad (12)$$

и производной

$$r = \frac{dx}{dy} = 2Ay + 4By^3 + \dots \quad (13)$$

можно связать изменение дисторсии  $\delta y''$ , создаваемое деформированием поверхности следующей формулой

$$\delta y'' = (\operatorname{tg} \beta' - \operatorname{tg} \beta) \left[ x + \frac{rd}{\operatorname{tg} \beta} \right] \quad (14)$$

где  $\beta$  и  $\beta'$  - углы падения и преломления главного луча на еще не деформированную плоскую нижнюю поверхность выравнивающей пластинки.

В первом приближении второй член, стоящий в квадратных скобках, может быть отброшен.

г. О дисторсии, возникающей при съемке пространственного объекта за счет наличия большой сферической аберрации во входном зрачке объектива (см. чертеж № 4).

При введении толстой плоскопараллельной пластинки перед объективом и соответствующей корректирующей пластинки за объективом, рассчитанной для основной плоскости наводки, возможен случай, когда толстая пластинка, расположенная перед объективом, внесет большую аберрацию во входном зрачке объектива.

В подобном случае выход из основной плоскости наводки за счет глубины в пространстве предметов приведет к тому, что на место изображения в точке  $M'$ , попадет вместо точки  $M_0$  некоторая точка  $M$ , отстоящая на расстоянии  $\delta y$ . Перенося плоскость изображения проекции этого отрезка, мы получим на изображении точку  $M'_0$ , смещенную на некоторую величину  $\delta y'$ , которую мы

условно назовем дисторсией, возникающей при расфокусировке вследствие наличия абберации в зрачке входа объектива.

Величина этой дисторсии может быть выражена через дисторсию плоскопараллельной пластинки, установленной перед объективом (в предположении, что у самого объектива дисторсия во входном зрачке отсутствует). Таким образом, в первом приближении мы имеем:

$$\delta y' = - \frac{\nu \Delta y}{1 + S_0/\alpha} \quad (15)$$

Здесь  $\nu$  - это то увеличение, с которым ведется съемка; в обычных условиях оно порядка 0,1.  $\Delta y$  - это дисторсия, которая присуща данной пластинке, расположенной перед объективом для данного угла поля зрения.  $S_0$  - расстояние до угла поля зрения объектива;  $\alpha$  - величина расфокусировки.

Если  $S_0$  достаточно велико по отношению к  $\alpha$ , то дисторсия мала. Если же величина  $\alpha$  измерима с  $S_0$ , то знаменатель мал и величина дисторсии становится ощутимой.

д. Астигматизм, вносимый плоскопараллельными пластинками.

Величина астигматизма, вносимого плоскопараллельной пластинкой в сходящемся ходе лучей может быть определена по известной формуле

$$t' - S' = (n^2 - 1) \frac{\sin^2 i}{\cos^3 i} \frac{d}{r} \quad (16)$$



Заметим, что величина астигматизма, вносимого плоскопараллельными пластинками, размещаемыми перед объективом, будет переноситься на изображение, будучи умноженной на квадрат линейного увеличения, что делает астигматизм от передних пластин практически малоощутимым.

#### 5. О разрешающей способности фотообъективов

Оценку качества изображения, даваемого фотообъективами, обычно выражают числом разрешаемых линий на один миллиметр на изображении.

Необходимо отметить, что в конечном счете, оценку качества изображения следует производить с учетом свойств применяемых при съемке фотоматериалов; переход от одного фотоматериала к другому может очень существенно изменить разрешающую способность системы фотообъектив - фотоэмульсия.

Однако, чтобы иметь суждение о возможностях самих фотообъективов, следует ознакомиться с основными факторами, ограничивающими разрешающую способность самого объектива.

Одним из таких факторов является, как известно, величина остаточных aberrаций объектива; тем не менее, даже при отсутствии aberrаций величина разрешающей способности фотообъектива будет ограничиваться другим фактором - дифракционными явлениями, в свою очередь определяемыми величинами апертур световых пучков, создающих изображение.

Пользуясь формулами для разрешающей способности микроскопа, можно определить величину дифракционной разрешающей способности в центре поля зрения. Получаем:

$$e'_0 = \frac{1}{u'_0}; N_0 = \frac{1}{e'_0} = \frac{u'_0}{\lambda} \quad (17)$$

Численно, при относительном отверстии объектива I/10 и длине волны  $\lambda = 0,0005$ ,

$$N_0 = \frac{0,05}{0,0005} = 100$$

Однако, при переходе к наклонным пучкам, величина апертур в наклонных пучках соответственно изменяется; пользуясь чертежом 5 находим

$$U_f' = U_0' \cos^2 \beta' \quad (\text{при постоянном зрачке выхода}) \quad (18)$$

$$\bar{U}_f' = U_0' \cos \beta' \quad (\text{при абберационном виньетировании в объективах типа$$

$$Уссар)$$

Переходя к разрешающей способности и числам  $N$ , разрешаемых линий на миллиметр

$$l'_t = \frac{e'_0}{\cos^3 \beta} \quad (\text{без абберационного виньетирования}) \quad (19)$$

$$\bar{l}'_t = \frac{e'_0}{\cos^2 \beta'} \quad (\text{с абберационным виньетированием})$$

$$l'_s = \frac{e'_0}{\cos \beta'} \quad (\text{с абберационным виньетированием})$$

Соответственно

$$N_t = N_0 \cos^3 \beta'; \quad \bar{N}_t = N_0 \cos^2 \beta' \quad \text{и} \quad N_s = N_0 \cos \beta' \quad (20)$$

Эти формулы показывают нам на быстрое падение дифракционной разрешающей способности к краям поля зрения. Так для объектива с полем зрения в 120 градусов при равенстве входных и выходных углов друг другу мы, в лучшем случае, должны ожидать падения разрешающей способности по меньшей мере в четыре раза.

Однако, падение дифракционной разрешающей способности на краях поля зрения может быть существенно ослаблено при соответствующем уменьшении выходного поля зрения ("поля изображения") по сравнению с входным полем зрения.

#### 6. Некоторые конструктивные вопросы

а. Увеличение базиса съемки и полей зрения объективов.

Обращаясь к чертежу 6, на котором представлена схема съемки пространственного объекта с помощью двух фотокамер, отстоящих друг от друга на расстоянии базиса съемки  $B$ , мы без особого труда получаем хорошо известную в фотографии формулу для стереоскопического параллакса  $P$  на объекте

$$P = \frac{Bh}{H-h} \approx Bh/H \quad (21)$$

откуда, переходя к параллаксу  $p$  и базису  $B$  на снимках, получаем

$$p \approx \frac{bh}{H} \quad (22)$$

Из формулы (22) нетрудно усмотреть, что величина стереоскопического параллакса на снимках будет увеличиваться при уменьшении высоты съемки  $H$ . Это обстоятельство при сохранении одного и того же формата кадра, выбор которого будет обуславливаться шириной пленки и конструктивными габаритами всей установки, приводит нас к желательности возможно большего уменьшения высоты съемки  $H$  при сохранении размеров снимаемого пространства, т.е. к увеличению поля зрения объективов.

Во многих случаях такое уменьшение высоты съемки может оказаться полезным и в части уменьшения габаритов установки.

б. О возможности репроекции с нарушенными лучевыми связками  
(с нарушенным подобием хода лучей при репроекции).

В ряде случаев стереофотограмметрической съемки в пузырьковых камерах, когда среда, в которой происходят события, не воздух, для строгого соблюдения подобия световых пирамид при съемке и при репроекции необходимо иметь различные объективы, подобранные по своим фокусным расстояниям так, чтобы фокусные расстояния съемочных объективов, отнесенные к среде, в которой происходит съемка, были бы равны фокусным расстояниям проекционных объективов в воздухе для случая соблюдения масштаба проекции объекта по отношению к самому объекту, равному единице.

При применении масштаба проекции также приходится прибегать к соответствующему изменению фокусного расстояния проекционного объектива.

Однако, принципиально (и практически) представляется возможным избежать изменения фокусного расстояния проекционных объективов, если при репроекции отказаться от принципа сохранения подобия хода лучей; в таком случае, если оси съёмочных объективов были параллельны друг другу и перпендикулярны базису съёмки, нарушение принципа подобия выразится в изменении масштаба проекции вертикальной оси (то же, вдоль осей объективов) по отношению к масштабу в горизонтальной плоскости.

Обратимся к чертежу (черт.6). Согласно формуле (21), мы можем написать, обозначая все величины, относящиеся к съёмке, одним штрихом

$$\frac{B'}{\rho'} = \frac{H' - h'}{h'} = \frac{H'}{h'} - 1 \quad (23)$$

Для проекции аналогичные величины обозначим двумя штрихами. Тогда

$$\frac{B''}{\rho''} = \frac{H''}{h''} - 1 \quad (24)$$

параллакс  $\rho$  на снимках, согласно чертежа, выразятся

$$\rho = \frac{F'}{H'} \rho' = \frac{F''}{H''} \rho'' \quad (25)$$

называя отношения  $\frac{F}{H}$  горизонтальными масштабами  $M_0$ , можно написать

$$\rho = M_0' \rho' = M_0'' \rho'' \quad (26)$$

Но горизонтальный масштаб связывает собою и величины базиса на снимке и  $B$  на объекте. Поэтому

$$b = M'_0 B' = M''_0 B'' \dots \dots \dots (27)$$

и составляя отношение величин (26) и (27)

$$\frac{p}{b} = \frac{p'}{B'} = \frac{p''}{B''}, \quad (28)$$

что позволяет нам приравнять друг другу формулы (23) и (24),  
получаем

$$\frac{H'}{h'} = \frac{H''}{h''}. \quad (29)$$

Составляя отношение величин  $h''$  и  $h'$ , получаем вертикальный масштаб проектируемой стереомодели по отношению к объекту съемки

$$\frac{h''}{h'} = M_1 = \frac{H''}{H'} \quad (30)$$

Для горизонтального масштаба можно составить отношение масштабов  $M'_0$  съемки и  $M''_0$  проекции. Находим

$$M_0 = \frac{M'_0}{M''_0} = \frac{F'}{H'} \cdot \frac{H''}{F''} = \frac{F'}{F''} M_1 \dots \dots \dots (31)$$

Формула (31) и устанавливает нам простую зависимость между вертикальным и горизонтальным масштабами стереомодели объекта, полученной при репроекции с нарушенным подобием световых пирамид.

в) Выбор объективов.

В настоящее время в аэрофотосъемке имеется весьма обширный набор различных аэрофотообъективов, обеспечивающих формат кадра равный 180 x 180 мм и более: этот набор представлен объективами с рядом фокусных расстояний, представляемых геометрической прогрессией со знаменателем равным 2. Так, например, имеются объективы со следующими фокусными расстояниями:

$$f = 36,0; 55,0; 70; 100; 140; 200; 300; 500 \text{ мм}$$

$$2\beta = 148^{\circ}30'; 133^{\circ}; 122^{\circ}; 104^{\circ}; 85^{\circ}; 65^{\circ},$$

причем все эти объективы обеспечивают при формате кадра в 180x180 мм фотографическую разрешающую способность в центре поля в 30 - 35 - 40 линий на мм и 15 - 20 - 25 на краю поля.

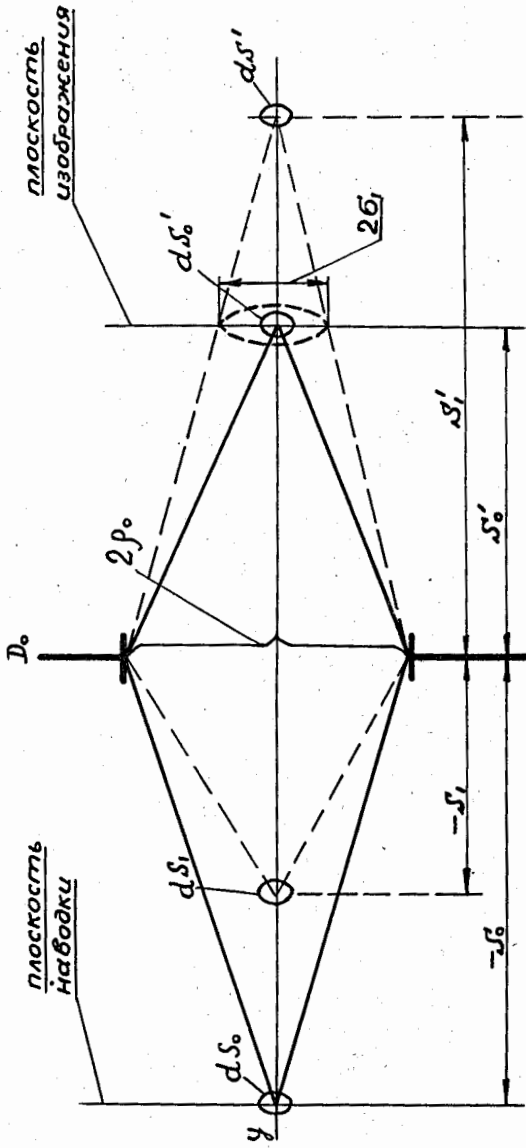
Учитывая, что в фотоаппарате, применяемом для съемок в камерах Вильсона, формат кадра выбирается значительно меньшим, например 50 x 50 мм<sup>2</sup> или еще меньше, представляется вполне возможным создавать объективы для камер путем пропорционального уменьшения всех линейных величин - радиусов, толщин линз, воздушных промежутков и в том числе aberrаций (путем пересчета на меньшее фокусное расстояние).

Такой пропорциональный пересчет с коэффициентом уменьшения около 3,5 весьма существенно улучшает качество изображения, но как это показывает опыт, повышение фотографической разрешающей способности происходит в значительно меньшей степени; тем не менее, вполне можно ожидать повышения фотографической разрешающей способности

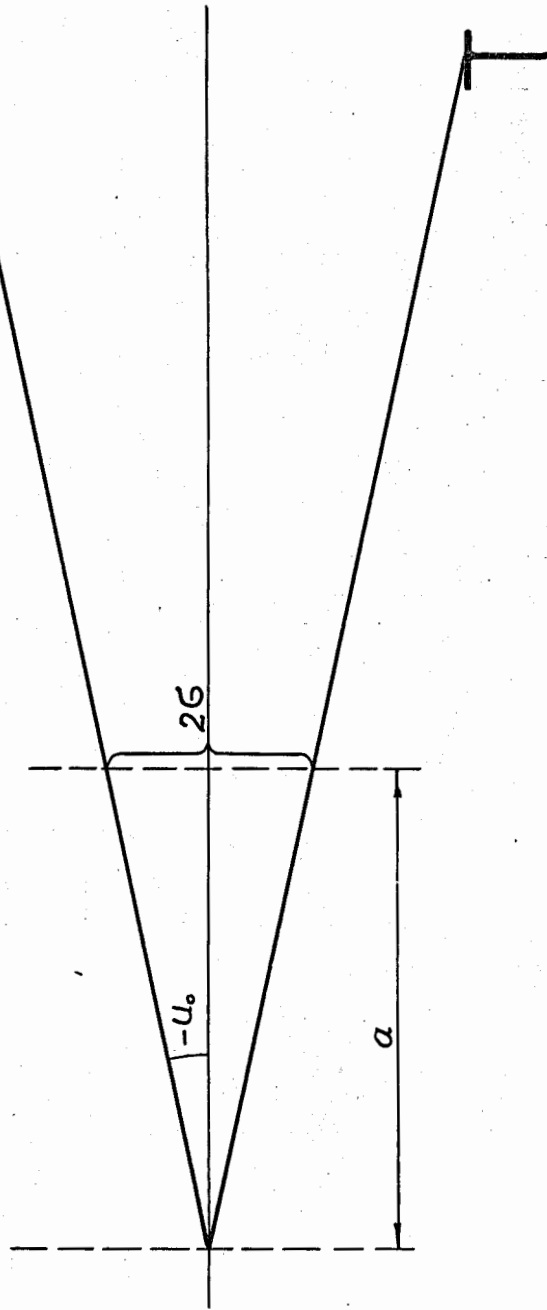
до границы, определяемой разрешающей способностью самой фотоэмульсии.

Необходимо отметить, что пересчет на меньшее фокусное расстояние не может поднять дифракционной разрешающей способности как в центре поля, так и на краю поля зрения; некоторое повышение разрешающей способности на краях поля зрения может быть достигнуто за счет разработки новых типов объективов с уменьшенным , как уже говорилось, "угловым полем изображения". Подобного рода работы ведутся сейчас по линии перестройки аэрофотообъективов. В частности, к числу таких объективов принадлежит недавно созданный объектив Руссар-38 с полем зрения  $2\beta$  около  $150^\circ$ . Внутреннее (выходное) поле этого объектива составляет около  $125^\circ$ , благодаря чему было достигнуто снижение падения освещенности изображения до функции  $\cos^2\beta$  и даже до  $\cos^3\beta$ .

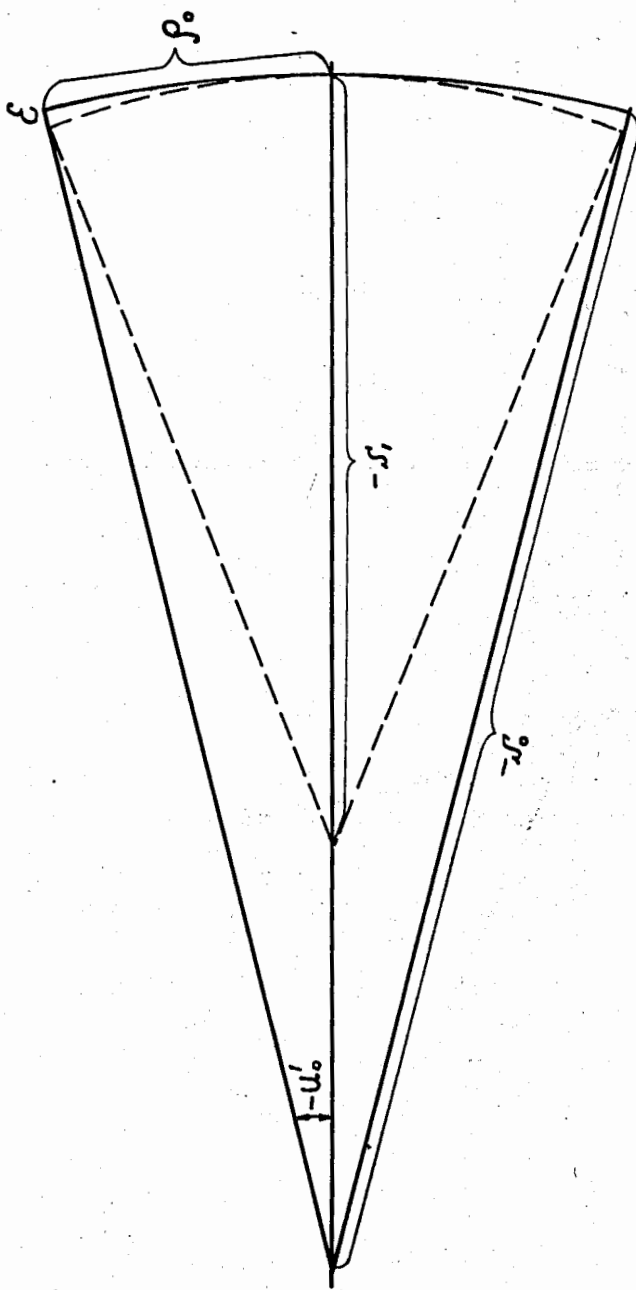




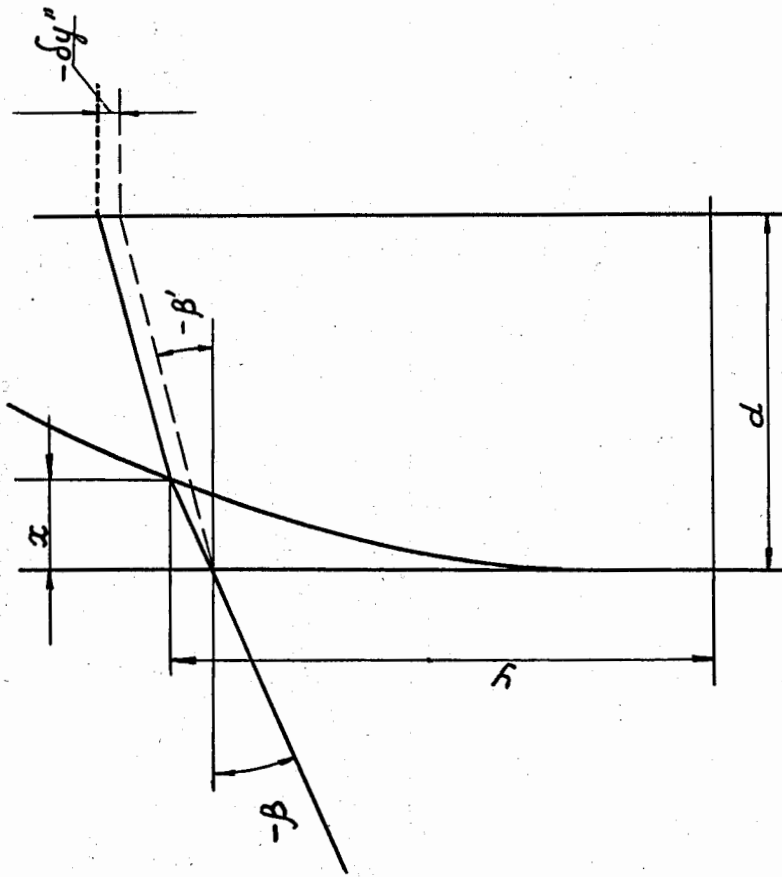
Чертеж 1



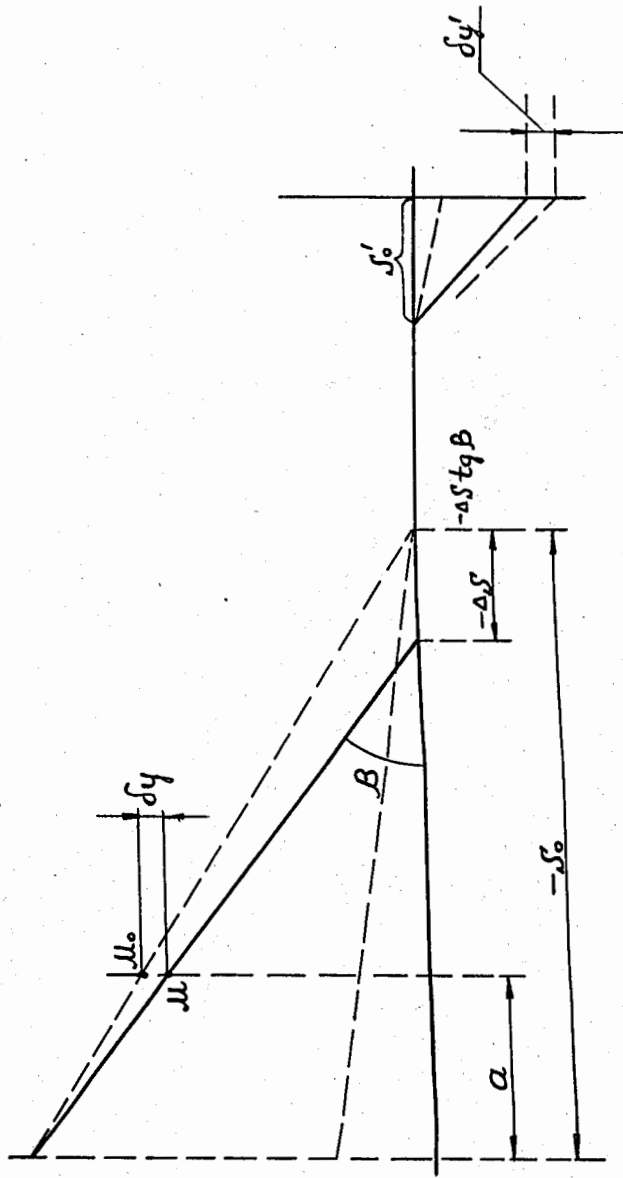
Чертеж 2а



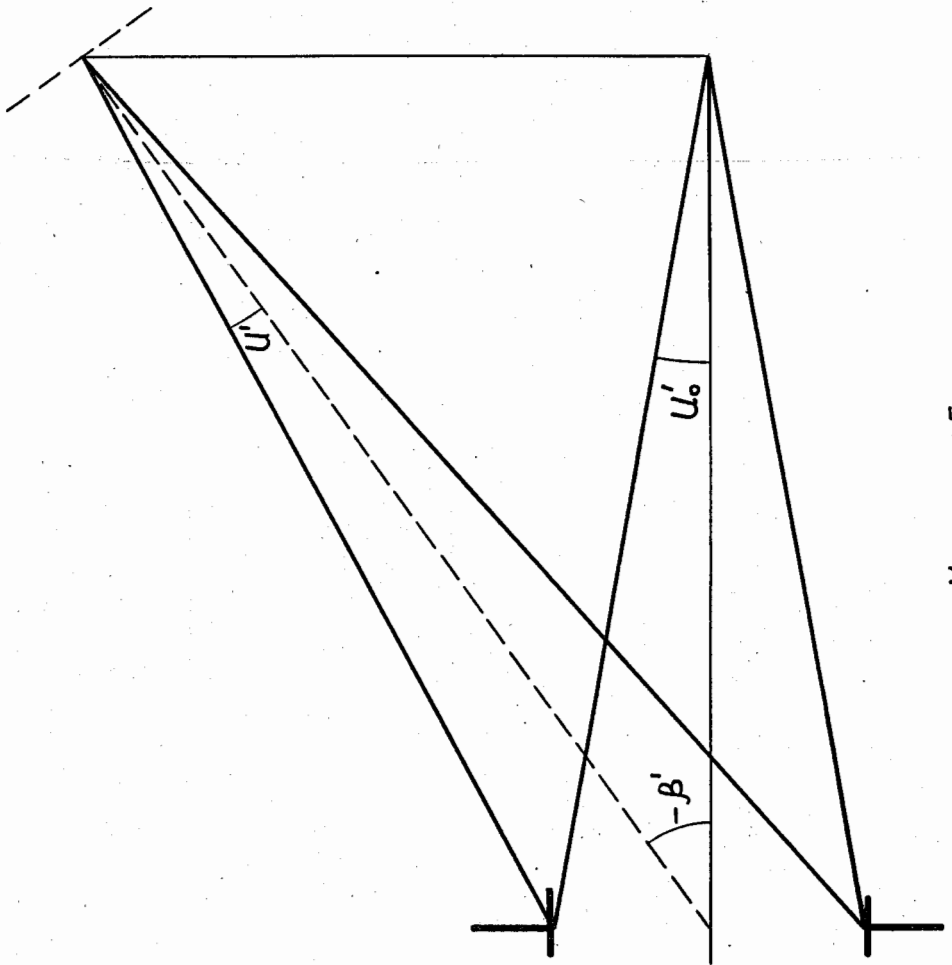
Чертеж 2б



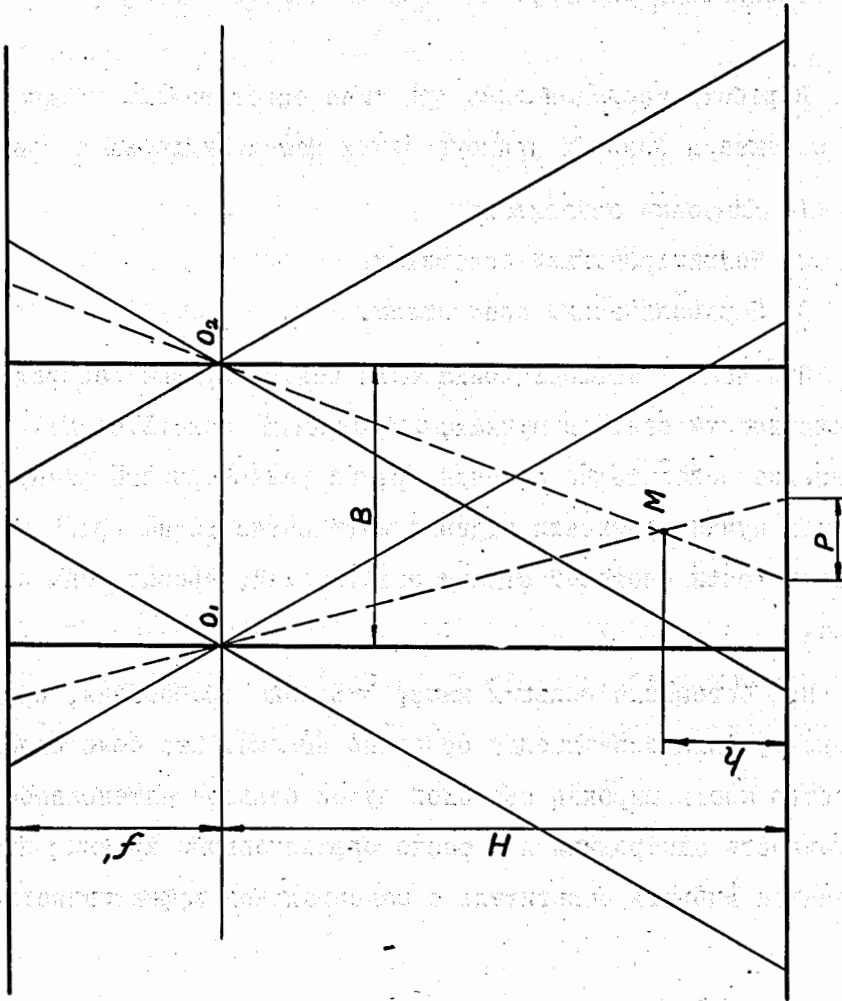
Чертеж 3



Чертеж 4



Чертеж 5



Чертеж 6

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ ДЛЯ БОЛЬШИХ КАМЕР ВИЛЬСОНА

В.Б.Елисеев, Г.М.Сташков, А.П.Шмелева

(Физический институт АН СССР им.П.Н.Лебедева)

В работе исследовались три типа осветителей, предназначенных для освещения больших прямоугольных камер Вильсона боковым светом:

1. Линзовый осветитель
2. Комбинированный осветитель
3. Параболический осветитель.

При помощи термостолбика были сняты кривые распределения интенсивности света в пучках, создаваемых осветителями. Произведено сравнение осветителей с точки зрения равномерности распределения света в пучке, резкости падения интенсивности на границах пучка, эффективности световой отдачи осветителей, уровня фона за пределами пучка.

При освещении больших камер Вильсона требования, предъявляемые к конструкциям осветителей особенно высоки. Это обусловлено необходимостью иметь широкий световой пучок большой интенсивности, по возможности однородный и с резко ограниченными краями; при этом стремятся выбрать осветитель с максимальной эффективностью световой



отдачи и не очень усложнять его конструкцию. Кроме того, желательно иметь линейный ход падения интенсивности вдоль пучка таким образом, чтобы при использовании двух боковых осветителей рабочий объем камеры был освещен равномерно. С нашей точки зрения этим требованием лучше всего удовлетворяют 3 нижеописанных конструкции осветителей.

1. Комбинированный осветитель - состоит из линзы  $L$  и трех цилиндрических зеркал, из которых одно круглое  $S$ , а два параболических ( $AB$  и  $A'B'$ ) (рис.1). Источник света (цилиндрическая импульсная лампа) помещен в центре кривизны круглого зеркала, который совпадает с общим фокусом линзы и двух параболических зеркал. Расчет параметров осветителя производился по формулам, приведенным в работе (1). Ширина пучка 170 мм.

2. Линзовый осветитель состоит из линзы с канавкой  $L_1$ , плосковыпуклой линзы  $L_2$  и круглого цилиндрического зеркала  $S$ , расположенных как показано на рис.2. Источник света (цилиндрическая импульсная лампа) помещен в точке  $F$ , являющейся центром кривизны круглого зеркала и фокусом оптической системы из линз  $L_1$  и  $L_2$ . Для получения приблизительно той же ширины пучка, что и у комбинированного осветителя исследовался осветитель, состоящий из двух осветителей линзового типа. Конструкция и расчет осветителя даны в работе (2).

3. Параболический осветитель состоит из параболического цилиндрического зеркала АВ и круглого цилиндрического зеркала  $S'$ , расположенных как показано на рис.3. Источник света помещен в точке  $F'$ , являющейся центром кривизны круглого зеркала и фокусом параболического.

В нашем случае в качестве круглого зеркала использовалась серебряная фольга, приклеенная к лампе. Ширина пучка, создаваемого осветителем, составляла 280 мм.

В опытах производились измерения интенсивности как вдоль (по оси  $X$ ), так и поперек пучка (по оси  $Y$ ). За начало координат принималась точка, в которой находился источник света. Измерения проводились с помощью термостолбика, включенного в цепь баллистического гальванометра. На основании предварительной градуировки можно было считать, что показания гальванометра прямо пропорциональны измеряемой интенсивности.

Были сняты кривые хода интенсивности в различных сечениях пучка (при различных фиксированных значениях  $X$ ) для разных систем осветителей (рис.4,5,6), где штрих-пунктирными линиями обозначены геометрические границы пучка.

Нами производилось сравнение полученных данных с точки зрения эффективности световой отдачи, однородности пучка, резкости границы, с точки зрения падения интенсивности в пучке с расстоянием от осветителя и, наконец, с точки зрения фона, даваемого каждым осветителем за пределами пучка.

Эффективность световой отдачи определялась как величина, равная:

$$K_{эф} = \frac{J_{осв}}{J_l} \%$$

где  $J_{осв}$  - полный световой поток от осветителя высоты  $e$  в слой, вырезанный площадкой термостолбика в окне осветителя.

$J_l$  - световой поток от открытой лампы той же высоты  $e$  в круговой пояс вырезанной площадкой термостолбика вокруг лампы. Радиус этого пояса был равен расстоянию от источника света до окна осветителя.

Величины  $J_l$  и  $J_{осв}$  измерялись непосредственно на опыте.

Полученные значения таким образом определенного коэффициента световой отдачи, сведены в таблицу I.

Таблица I.

Тип осветителя	Комбинир.	Линзовый	Параболич.
Кэф	55%	26%	32%

Для характеристики однородности пучка на данном участке  $L$  нами был введен коэффициент  $K_{одн}$ , равный отношению минимальной интенсивности к максимальной на данном участке  $L$ . Оценивалась однородность поперек пучка (т.е. по оси  $y$ ) на различном расстоянии от осветителя.

Полученные результаты сведены в табл.2.

Таблица 2

Участок, на котором измерялась однородность	$L = 75\%$ полной ширины пучка			$L = 100\%$ полной ширины пучка		
	40	80	120	40	80	120
Расстояния от лампы см X						
Комбинированный	54%	76%	91%	20%	53%	64%
Линзовый	19%	33%	34%	3%	3%	10%
Параболический	55%	65%	83%	18%	28%	50%

Из этой таблицы видно, что с увеличением расстояния от осветителя однородность пучка для всех типов осветителей улучшается. Наилучшее значение однородности — у комбинированного осветителя, наихудшее — у линзового. Кроме того, следует отметить, что однородность соблюдается значительно лучше для центральной части пучка ( $L = 75\%$ ) по сравнению с однородностью на всей ширине пучка.

Нами определялась резкость границы пучка для комбинированного и для линзового осветителя. Коэффициент резкости определялся как средний градиент падения интенсивности в областях с краев пучка составляющих 25% всей ширины пучка.

Полученные значения для различных осветителей и различных сечений пучка приведены в табл.3.

Тип осв.	Комбинированный			Линзовый		
	40	80	120	40	80	120
Расстояние от ламп X см.						
<i>K резк.</i>	200	62,5	25	156	57	6,2

Так как ширина пучка у осветителя параболического типа несколько шире, то количественное сравнение для этого типа осветителя не было проведено. Но можно утверждать, что резкость границы у параболического осветителя, не лучше чем у линзового или комбинированного осветителей.

Полученные значения резкости могут быть несколько улучшены втировкой оптической системы осветителей и применением шторок, но обычно это можно сделать только за счет ухудшения однородности пучка.

Не менее важной величиной характеризующей осветитель, является коэффициент фона  $K_f$ , равный отношению интенсивности фона на границе пучка к максимальной интенсивности в пучке (в %). Эта величина определялась для каждого типа осветителей в сечении пучка, отстоящем на 40 см от лампы. Полученные значения сведены в табл.4.

Т а б л и ц а 4

Тип осветителя	Комбинированный	Линзовый	Параболический
<i>К<sub>ф</sub> <math>\chi = 40\text{см}</math></i>	17%	2,5%	20%

Малая величина фона выгодно отличает линзовый осветитель от остальных типов осветителей.

Ход падения интенсивности света в пучке с расстоянием от осветителя представлен на графике (рис.7), из которого видно, что падение интенсивности приближается к линейному лишь начиная с расстояния 30-50 см от осветителя. Таким образом, имеет смысл располагать осветитель на этом расстоянии от рабочей зоны камеры, если, конечно, нет недостатка в количестве света.

Сравнительные измерения показали, что наилучшие результаты по эффективности и однородности получены для комбинированного осветителя. К числу недостатков комбинированного осветителя следует отнести большой фон за границами пучка и сложность вставки и изготовления осветителя этого типа. Для линзового осветителя характерна резкая граница пучка, малый фон, но недостаточная однородность. Параболический осветитель, несмотря на худшие оптические показатели, прост конструктивно и в наладке.

Наконец, третий параметр, по которому производилось сравнение этих систем - это уровень фона, определяемый как отношение интенсив-

ности рассеянного света ("засветок") на границе пучка к максимальной интенсивности в пучке.

На расстоянии 40 см от лампы уровень фона составлял в комбинированном осветителе  $\frac{I}{6}$ , в линзовом  $\frac{I}{40}$  и в параболическом -  $\frac{I}{5}$  от интенсивности пучка. Таким образом, видно, что в линзовом осветителе уровень фона на границе пучка существенно меньше, чем в комбинированном и параболическом.

В заключение можно сказать, что наилучшие результаты по эффективности использования светового потока лампы и по интенсивности дает комбинированный осветитель. Недостатки - большой фон на границе пучка и сложность изготовления и отстройки системы.

Линзовый осветитель дает довольно хорошую границу пучка и незначительный фон на его границе. К недостаткам нужно отнести малую ширину пучка, что приводит к тому, что на глубоких камерах приходится применять двоянные осветители, что приводит к плохой однородности пучка.

Наконец, параболический осветитель подкупает простотой изготовления и простотой наладки.

#### Л и т е р а т у р а

1. C. Ballaric, M. Beneventano, B. Brunelli, A. De Marco  
Rev. Sci. Instr. 25, 99 (1954)

2. E. S. Lofgren, E. P. Ney, F. Oppenheimer  
Rev. Sci. Instr. 19, 271 (1948)

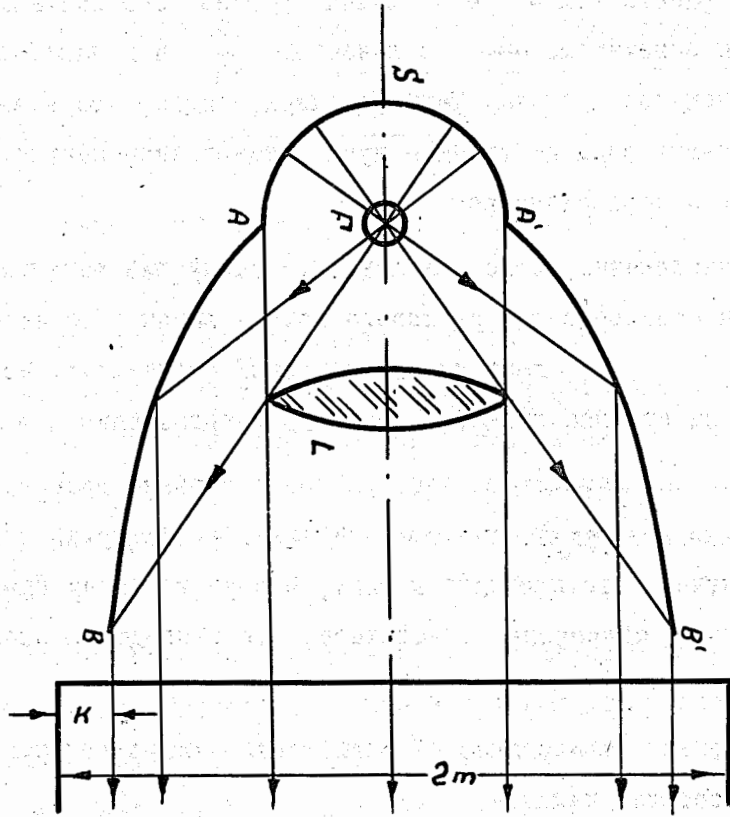


Рис. I.  
Комбинированный осветитель.



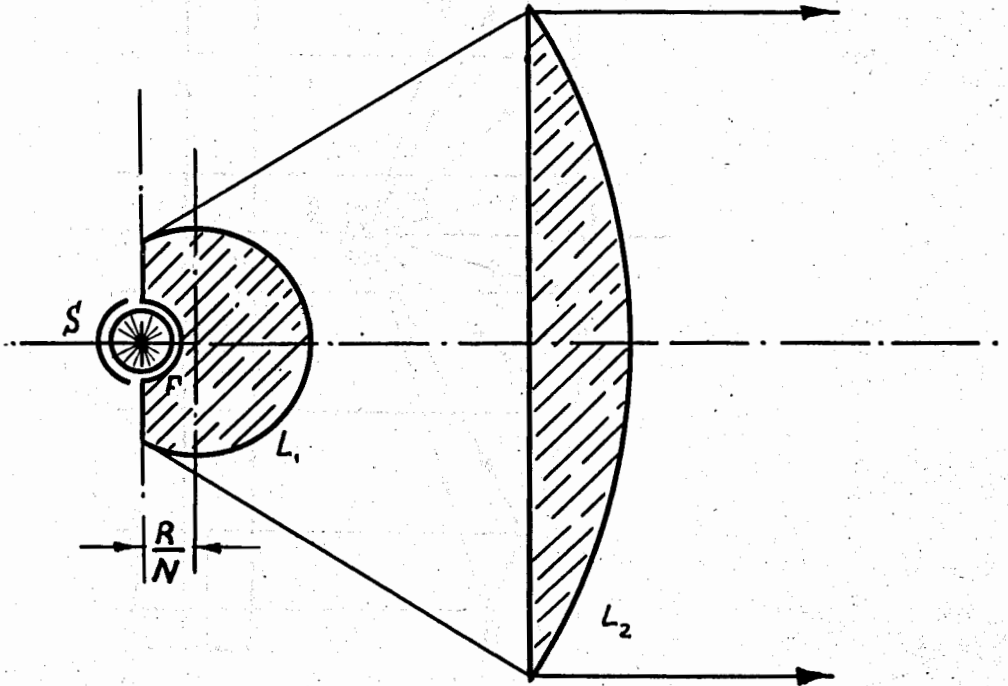


Рис. 2.  
Линзовый осветитель.

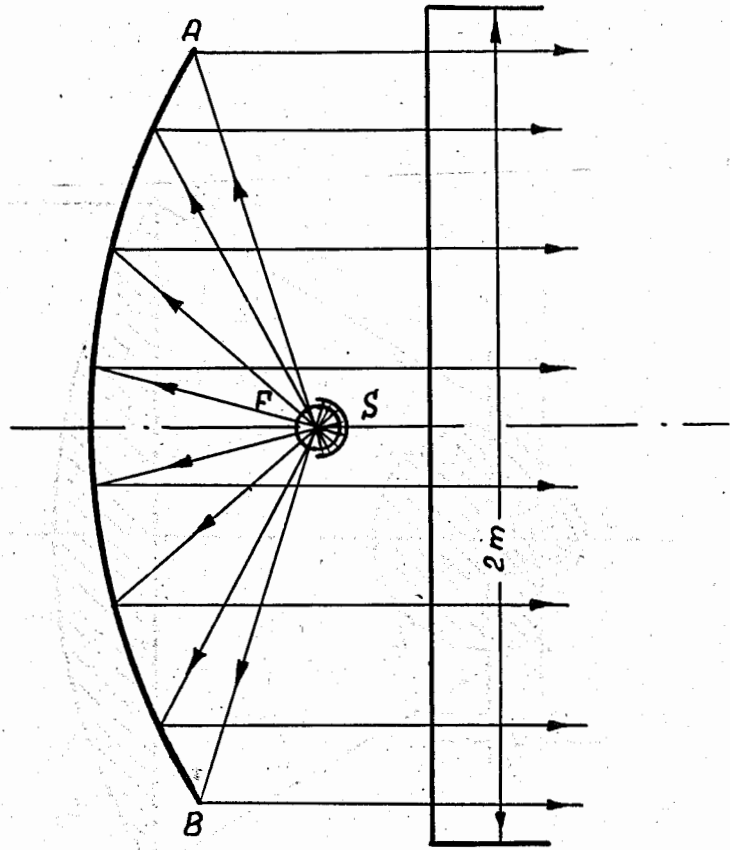


Рис. 3.  
Параболический осветитель.

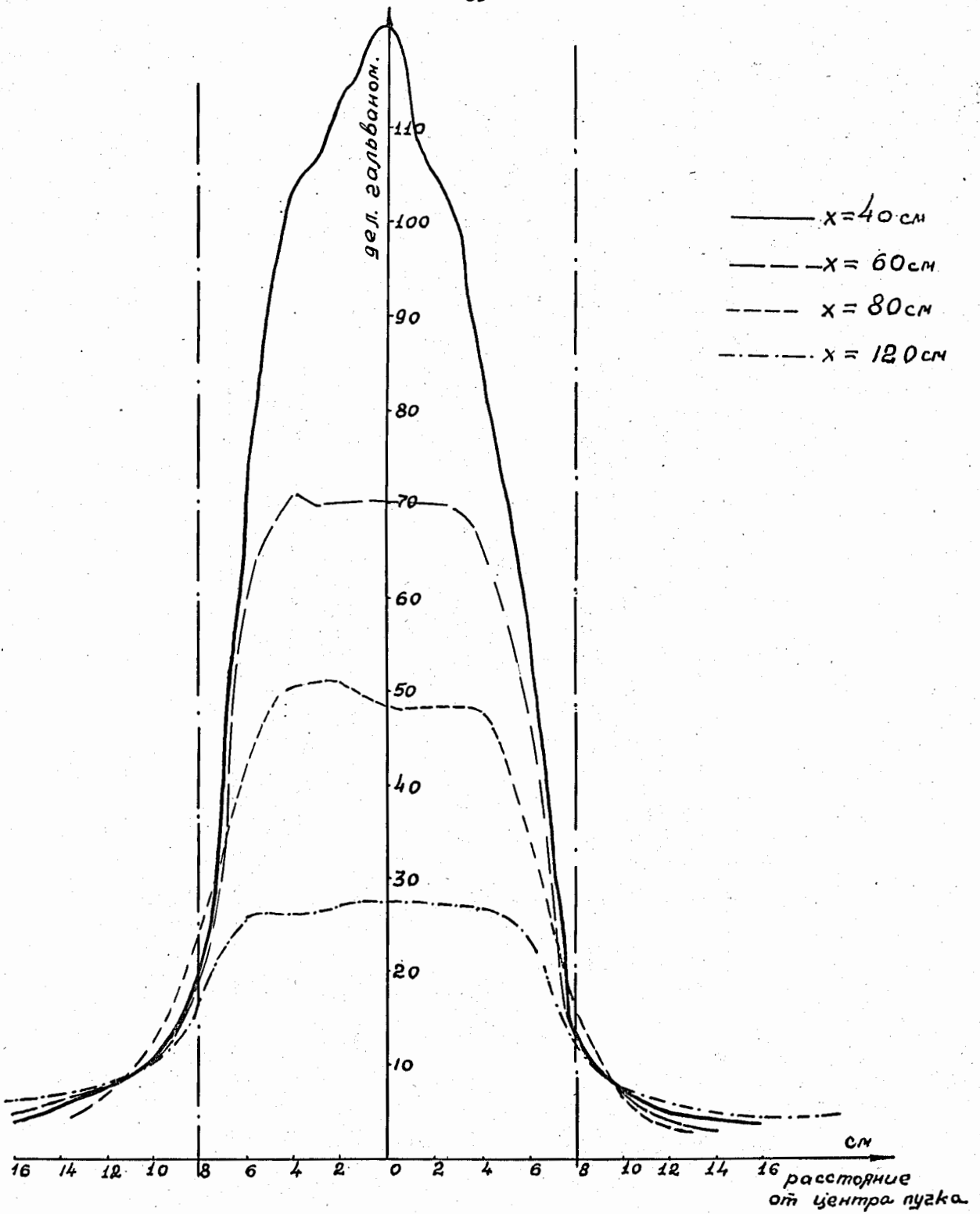


Рис. 4 Комбинированный осветитель

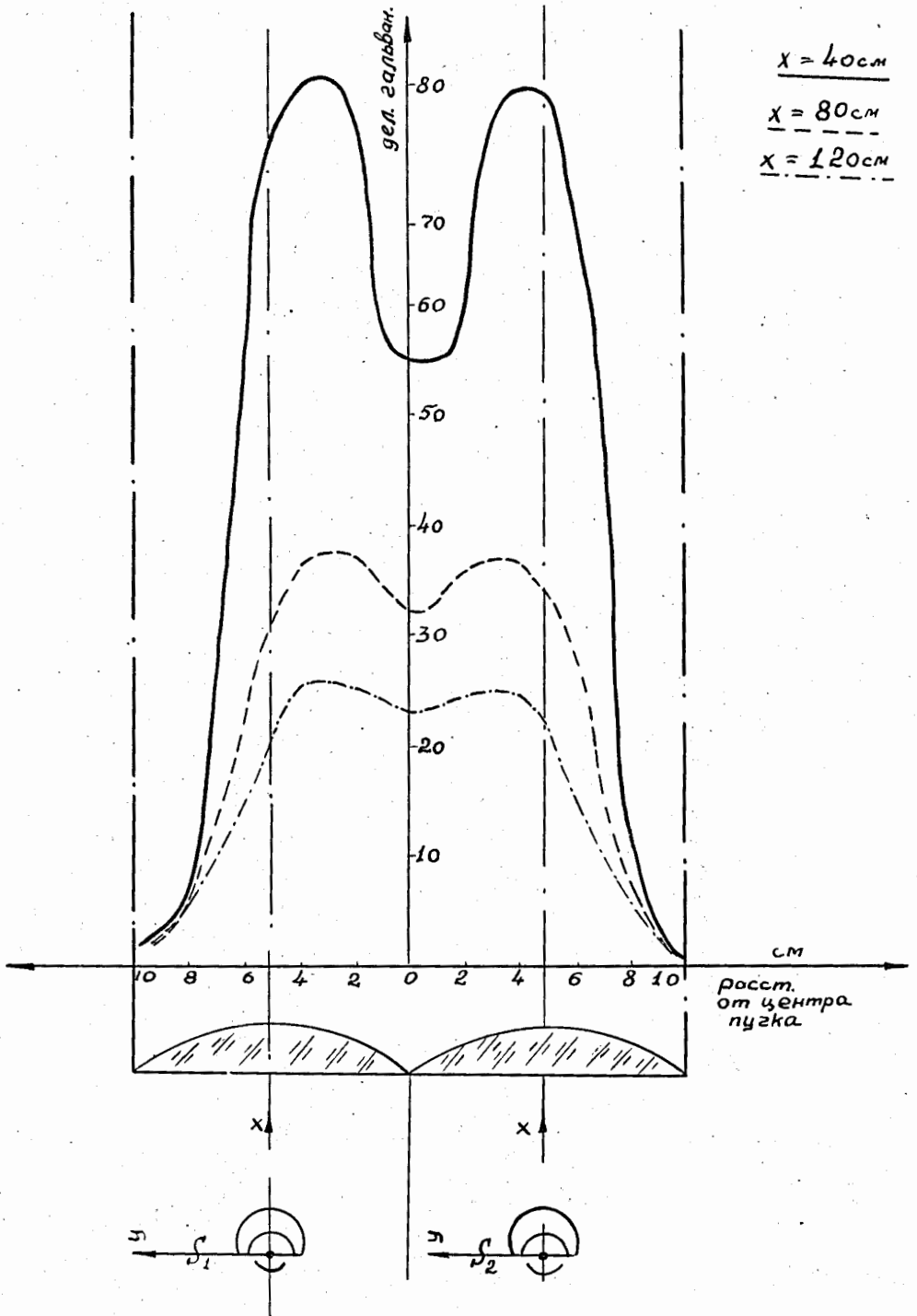


Рис. 5 Линзовый осветитель

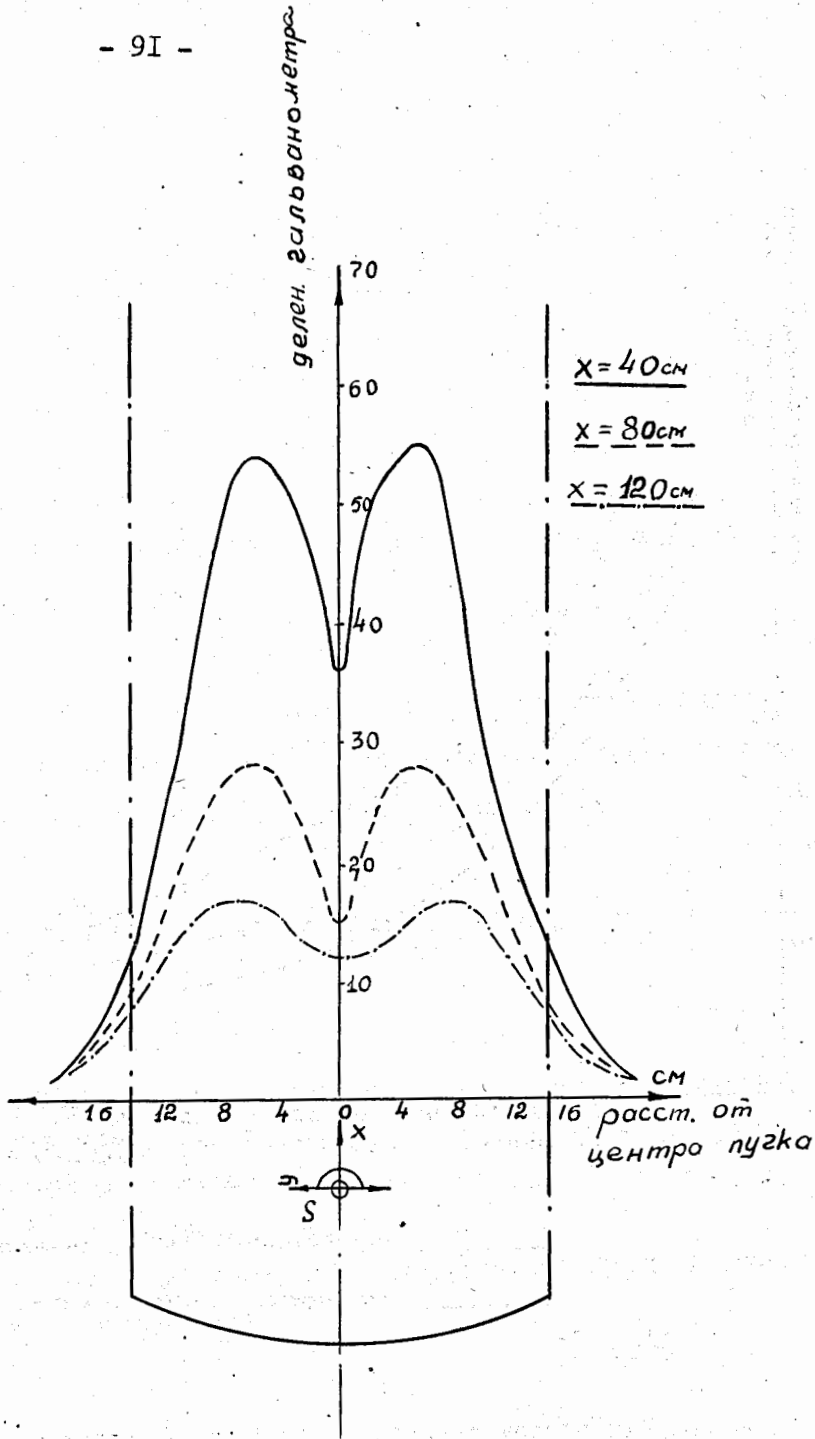


Рис. 6 Параболитический осветитель

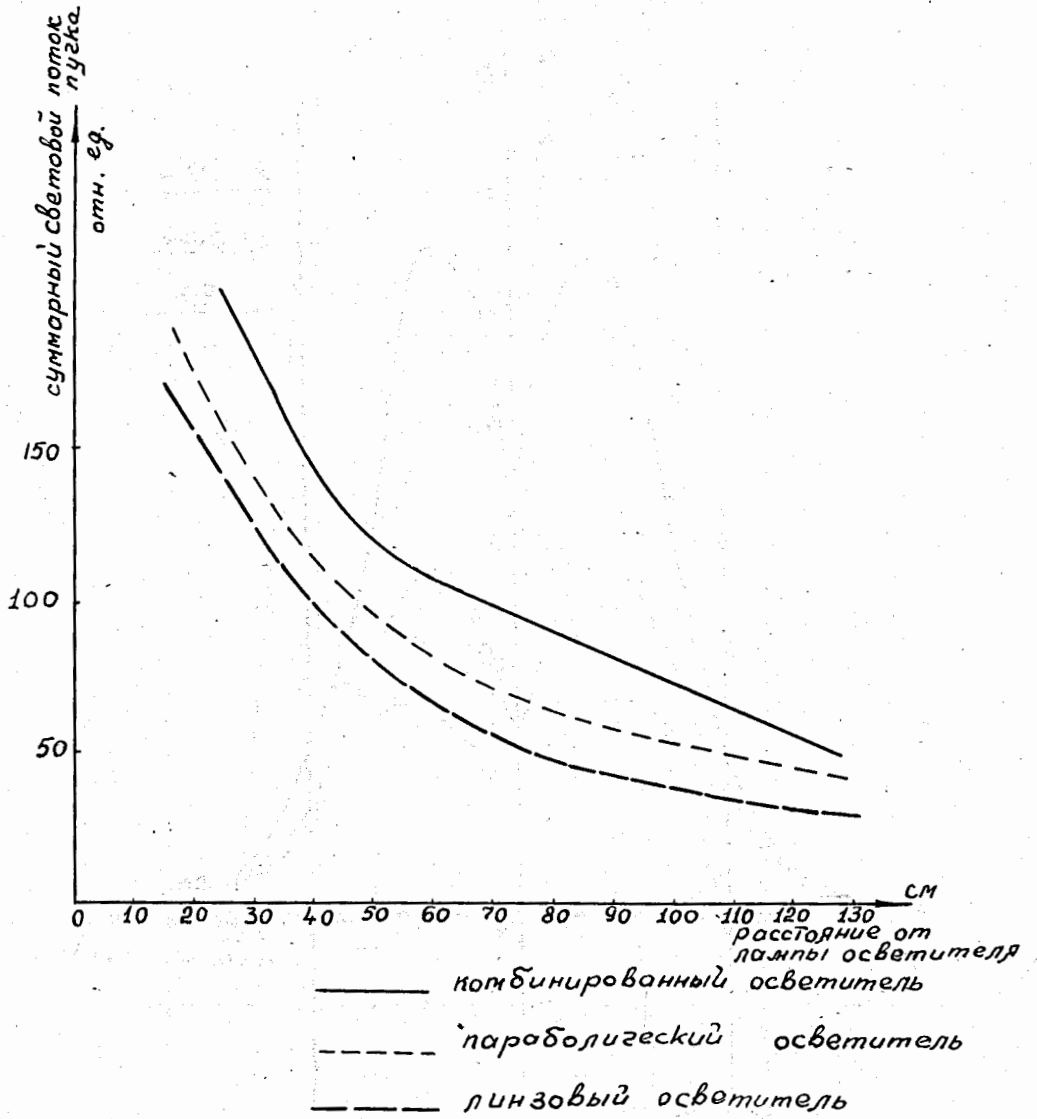


Рис. 7

Д и с к у с с и я

Русинов М.М. (ЛИТМО).

В комбинированном осветителе падает ли интенсивность при снятии линзы?

Елисеев.

Если убрать линзу, интенсивность значительно не снижается. Ухудшается однородность пучка и параллельность лучей, так как без линзы свет от лампы идет расходящимся пучком.

Русинов М.М.

Какое фокусное расстояние было у парабол в первом и третьем осветителе?

Елисеев.

Для параболического осветителя  $R = 200$  мм, для комбинированного - несколько сантиметров. Фокусное расстояние линзы  $= 50$  мм.

Проф. Чан (Ф.И. АН КНР).

Каким образом вы измеряли интенсивность пучка и почему не использовали фотоэлемент?

Елисеев.

Интенсивность измерялась с помощью термостолбика. Перед началом этой работы мы сравнивали несколько датчиков- фотоэлемент, термостолбик. Этими датчиками измерялось спадание интенсивности в зави-

симости от расстояния от открытой, ничем не экранированной цилиндрической лампы длиной  $l$ . Вычислялось теоретическое значение хода спада интенсивности. Наименьшее отклонение от теоретического значения дает термостолбик.

Фотоэлемент при таких больших значениях энергии вспышки дает насыщение. А нам хотелось промерить распределение интенсивности в рабочих условиях, поэтому мы использовали термостолбик.

Тибор Гемеш (Венгрия).

Вы не пробовали в параболическом осветителе ставить перед лампой цилиндрическую очень узкую линзу, не шире диаметра лампы? Это позволит использовать весь пространственный угол.

Елисеев.

Этого мы не пробовали. Но пространственный угол используется и здесь, так как впереди лампу закрывает цилиндрическое зеркало, отражающее свет на параболу. Установку маленькой цилиндрической линзы осуществить очень трудно; вдобавок она будет давать пучок большой интенсивности из-за большого угла охвата. Грубо говоря, линза будет светиться на общем фоне пучка.

Вопрос с места.

Является ли плазма прозрачной? Если она не прозрачная, то смысл заднего цилиндра в комбинированном осветителе пропадает, и его надо выбросить. Я пробовал и не получил большой разницы с цилиндром и без цилиндра.

Вопрос к Маршаку - плазма светится по всему объему или светится только поверхностный слой?



Маршак - (электrolамповый завод).

Плазма не совсем прозрачная. Мы измеряли силу света от диафрагмированного участка лампы в зависимости от угла между нормалью к поверхности и направлением на термозлемент. Если бы излучатель был поверхностный, должен был бы получиться косинусный закон. При объемном излучателе закон получается другой. В результате измерений получена зависимость, находящаяся где-то между этими двумя законами, причем отклонение от косинуса очень сильно зависит от градиента, потому что чем выше температура плазмы, тем она более прозрачна. Удалось установить какую-то закономерность зависимости прозрачности плазмы от напряжения на лампе.

Для ламп малых диаметров (~6 мм) градиенты малы, всего 20-30 вольт/см, и можно считать плазму практически прозрачной. Для больших градиентов порядка нескольких сотен вольт/см плазма практически непрозрачна.

Елисеев.

Отвечаю на первый вопрос. Мы измеряли интенсивность  $J_1$  света от открытой лампы. Затем сзади лампы ставился цилиндр и измерялась интенсивность  $J_2$ . Отношение  $\frac{J_2}{J_1} \approx 1,5 - 2$ , т.е. наблюдалось значительное улучшение.

Вопрос с места.

Не лучше ли вместо заднего цилиндра в комбинированном осветителе поставить фольгу, непосредственно прилегающую к лампе?

Елисеев.

Я не пробовал этого делать. Но мне кажется, что из-за большой кривизны маленького цилиндра неточности при изготовлении цилиндра

будут сказываться сильнее. Вдобавок, такой цилиндр надо очень точно устанавливать, так как достаточно небольших смещений и часть параболы будет экранирована.

Вопрос с места.

В какой степени сопоставление этих трех осветителей является однозначным, т.е. параметры, характеризующие осветители, являются оптимальными, или же случайными, и можно, например, изменить фокус параболы и получить лучшие параметры?

Елисеев.

Расчет осветителей проводился по формулам, приведенным в литературе. Все три осветителя были сделаны так, чтобы получить пучок света примерно в 20 см ширины. Этим более или менее однозначно определяются фокусные расстояния. А в процессе настройки подбирались наиболее оптимальные условия для каждого осветителя, причем пучок долго юстировали, промеряли и т.п.

В приведенных характеристиках пучков некоторые из них могут быть улучшены за счет ухудшения других, например, можно улучшить границу пучка за счет однородности и т.п.

Те пучки, которые я приводил, мы считаем наиболее подходящими для освещения конкретной, заданной камеры.

Вопрос с места.

Лампа была всегда одна и та же или менялась?

В.Б.Елисеев.

Лампа была всегда одна и та же.

Вопрос с места.

А ширина источника света этой лампы имеет очень большое значение? Если ее не учитывать она может сильно изменить результат.

Елисеев.

Теперь относительно учета ширины светящейся части. У нас работа ставилась таким образом: нужно было выбрать для камеры любой подходящий осветитель. Естественно, при испытании всех трех осветителей, лампы и режим их работы брались идентичные.

Влияние ширины светящегося ствола на качество пучка не изучалось.

Мы не исследовали, как будет меняться качество пучка на одной системе в зависимости от ширины светящегося ствола лампы.

С места.

Профессор Лан Го-чен хочет спросить, какова ширина светового источника?

В.Б.Елисеев.

Т.е. диаметр лампы? - Он равен 7 мм.

Вопрос.

Проводили ли вы такие измерения: как влияет на резкость падения границы пучка помещение диафрагмы перпендикулярно? Я имею в виду опыт, который ставили венгерские товарищи.

В.Б.Елисеев.

Такие измерения делались, в частности, для параболического осветителя.

Мы имитировали фланец камерн и замеряли интенсивность после фланца.

Результаты значительно улучшились. Особенно улучшилась резкость границы. Кроме того, ставились шторки перед осветителем на расстоянии 1-2 см. Длина их 9 см. Но их влияние оказалось отрицательным: они очень сильно ухудшают однородность пучка и сильно снижают его интенсивность.

Воробьев (ЛВЭ ОИЯИ).

Вертикальные шторки вы не ставили?

В.Б.Елисеев.

Вот сечение лампы. - А шторки стоят вертикально.

Воробьев. (ЛВЭ ОИЯИ).

Я имел в виду плоские шторки, перпендикулярные оси лампы. Мне известно, что в ФИАН<sup>е</sup> эта работа ставилась. То же самое мы сделали у себя. Мы разбили всю длину лампы на много участков и поставили перпендикулярные шторки через 4 мм друг от друга. И так как цилиндрическая оптика фокусирует только в одном направлении, то такими шторками мы уменьшали боковые лучи и получали больше сходящихся пучков и меньше расходящихся.

Я думаю, что таким образом можно получать более однородные пучки.

Федоров (ФИАН).

Вы привели кривые спадения интенсивности для трех осветителей. Но вы показали, что в линзовом осветителе у вас две лампы. Как же можно сравнивать?

В.Б.Елисеев.

Я сравнивал только ход. А световой выход соответственно пересчитывался на две лампы.

Вопросы, связанные с определением светового выхода лампы, являются сложными и требуют проведения специальных исследований. В настоящее время в нашей стране отсутствуют необходимые приборы и методики для проведения таких исследований. Поэтому в настоящее время световой выход лампы определяется по ее световой кривой, которая строится на основании данных, полученных в результате измерений светового потока лампы в различных направлениях.

Световой выход лампы определяется как произведение светового потока лампы на время ее работы. Световой поток лампы определяется как количество света, испускаемого лампой в единицу времени. Световой поток лампы зависит от ее конструкции, типа лампы, ее мощности и т.д.

В настоящее время в нашей стране отсутствуют необходимые приборы и методики для проведения таких исследований. Поэтому в настоящее время световой выход лампы определяется по ее световой кривой, которая строится на основании данных, полученных в результате измерений светового потока лампы в различных направлениях.

Световой выход лампы определяется как произведение светового потока лампы на время ее работы. Световой поток лампы определяется как количество света, испускаемого лампой в единицу времени. Световой поток лампы зависит от ее конструкции, типа лампы, ее мощности и т.д.

В.Б.Елисеев

К ВОПРОСАМ О ФОТОГРАФИРОВАНИИ И ОСВЕЩЕНИИ СЛЕДОВ

В КАМЕРАХ ВИЛЬСОНА

Е.А.Лариков  
(Завод Физприбор )

I. Относительное отверстие и масштаб изображения

В литературе о камерах Вильсона (см. Н. Дас Гупта и С. Гош "Камера Вильсона и ее применение в физике" 1947 г., стр. 53 + 57; Дж. Вильсон "Камера Вильсона", 1954 г. стр. 70+ 73) показано, как может быть найдена глубина фотографирования  $\Delta \xi$  по относительному отверстию  $\frac{2\alpha}{f}$  и масштабу изображения  $\beta$ . Однако, там не подчеркнута, что эти две величины взаимосвязаны и сами должны быть определены как функции заданной глубины  $\Delta \xi$  пространства камеры и других постоянных.

Полный ответ на эти вопросы можно получить, если воспользоваться релеевскими результатами дифракционной теории о пространственной структуре изображения и учесть, что объекты фотографирования - капли тумана на треках - малы, и поперечные размеры их снимков в основном определяются не геометрической, а дифракционной оптикой.

Согласно этой теории светящаяся геометрическая точка идеальным фотообъективом, освобожденным от всех aberrаций, изображается

в гиперфокальной плоскости (плоскость изображений, определяемая по законам геометрической оптики) в виде центрального яркого кружка, окруженного чередующимися темными и светлыми кольцами с возрастающими радиусами  $z_k$ , которые могут быть вычислены по известной формуле:

$$z_k = \frac{m_k \lambda \xi'}{2 f a'} \quad (I)$$

здесь  $m_k$  - числовой коэффициент. Для центрального яркого кружка он равен 3,83;

$\lambda$ , - длина волны света;

$\xi' = (1 + \beta) \cdot f$  - расстояние от плоскости выходного зрачка объектива до плоскости изображений;

$a'$  - радиус выходного зрачка. Он без заметной ошибки может быть принят равным  $a$  - радиусу входного зрачка,  $f$  - фокусное расстояние объектива.

В центральном ярком кружке сосредоточено около 84% всей световой энергии, а потому именно он и должен рассматриваться как изображение светящейся точки. Поперечные размеры его могут быть определены диаметром  $d_n$  центрального яркого кружка, для которого на основании (I) будем иметь:

$$d_n = 2 \cdot z_0 = 2,44 \lambda (1 + \beta) \frac{f}{2a}$$

Одной из основных характеристик фотографической пленки является ее разрешающая способность, т.е. наименьшее расстояние  $\Delta l'$  на ней, на котором пленка еще не сливает в одно два различных точечных изображения. Это расстояние задается числом  $N$  не сливающихся черных и белых линий, расположенных на одном миллиметре. Ясно, что для получения качественных снимков отдельных капель тумана, дифракционный диаметр  $d_n$  пятна - изображения должен быть меньше  $\Delta l' = \frac{1}{N}$ , т.е. необходимо иметь

$$2,44 \lambda (1+\beta) \frac{f}{2a} = \frac{1}{K_r N} \quad \text{или}$$

$$\frac{2a}{f} = 2,44 K_r \cdot N \lambda (1+\beta) \dots \dots \dots (2)$$

Здесь  $N$  в  $\frac{\text{ЛИНИЯХ}}{\text{ММ}}$ ,

$K_r$  - коэффициент надежности по пленке, который должен быть больше 1, и, очевидно, его следует брать равным двум.

Релеевское решение, помимо того, указывает, что представляет собой изображение вдоль оптической оси, в непосредственной близости от гиперфокальной плоскости, на некотором относительно небольшом расстоянии  $\Delta \xi'$  от нее. Освещенность  $E$  центрального яркого пятна диаметра  $d_n$  в точках вдоль оптической оси в зависимости от  $\Delta \xi'$  выражается соотношением:

$$E = 4 \cdot E_0 \frac{\sin^2 \frac{\rho}{2}}{\rho^2} \dots \dots \dots (3)$$



где 
$$\rho = \frac{\mathcal{F}a^2}{\lambda(1+\beta)2f^2} \Delta \zeta' \dots \dots \dots$$

(4)

$E_0$  - освещенность в гиперфокальной плоскости. Если принять  $E_0=100$ , то по формуле (3) для близлежащих точек, заданных через посредство  $\rho$ , получаются следующие результаты:

$\rho$	0	$\frac{\mathcal{F}}{4}$	$\frac{\mathcal{F}}{2}$	$\frac{3\mathcal{F}}{4}$	$\mathcal{F}$	$\frac{5\mathcal{F}}{4}$	$\frac{3\mathcal{F}}{2}$	$\frac{7\mathcal{F}}{4}$	$2\mathcal{F}$	$\frac{5\mathcal{F}}{2}$	$3\mathcal{F}$	$\frac{7\mathcal{F}}{2}$	$4\mathcal{F}$	
E	100	95	81	62	41	22	9	2	0	3	5	2	0	

Из таблицы видно, что до значений  $\rho = \mathcal{F}$  освещенность E меняется со сравнительно малой интенсивностью и падает немногим больше, чем наполовину. Суммарная освещенность за границей  $\rho = \pm \mathcal{F}$  очень быстро ослабевает и уже может определяться по законам геометрической оптики. Кроме того, до границ  $\rho = \pm \mathcal{F}$  по обе стороны от гиперфокальной плоскости дифракционное изображение вдоль оптической оси в основном продолжает сохранять свои поперечные размеры приблизительно постоянными и равными центральному пятну в гиперфокальной плоскости. За границами  $\pm \mathcal{F}$  поперечные размеры изображения быстро расплываются. Следовательно, интервал  $+\mathcal{F}, 0, -\mathcal{F}$  указывает как раз те места около гиперфокальной плоскости, в которых воздействие на светочувствительную пленку будет наиболее интенсивным и мало зависящим от конкретного значения  $\Delta \zeta'$ .

Из выражения (4) для указанных границ  $\pm \mathcal{F}$ , используя широкоизвестные соотношения геометрической оптики, при помощи несложных алгебраических выкладок нетрудно перейти от глубин  $\pm \Delta \zeta'$

в пространстве изображений к сопряженной им суммарной глубине  $\Delta z$  в пространстве предметов и получить следующую, достаточно точную для практики, известную формулу:

$$\Delta z = 8 \lambda \frac{(1+\beta)^2}{\beta^2} \left( \frac{f}{2a} \right)^2 \dots \dots \dots (5)$$

Полученные соотношения (2) и (5) следует рассматривать как систему двух уравнений с неизвестными  $\beta$  и  $\frac{2a}{f}$ . Решение их для масштаба изображения  $\beta$  дает:

$$\beta = + \frac{1,16}{K_x \sqrt{\lambda \cdot \Delta z}} \dots \dots \dots (6)$$

и для относительного отверстия  $\frac{2a}{f}$  получаем:

$$\frac{2a}{f} = 2,44 K_x \sqrt{\lambda} + 2 \sqrt{\frac{2\lambda}{\Delta z}} \dots$$

Здесь второй член пренебрежимо мал по сравнению с первым и потому для расчетов можно написать

$$\frac{2a}{f} \approx 2,44 K_x \sqrt{\lambda} \dots \dots \dots (7)$$

Формулы (6) и (7) могут быть упрощены, если положить  $K_x = 2$ ,  $\lambda = 0,0005$  мм ( $5000 \text{ \AA}$ ), тогда

$$\frac{2a}{f} \approx \frac{\sqrt{\lambda}}{400} \dots \dots \dots (7^I)$$

и

$$\beta \approx + \frac{25,9}{\sqrt{\Delta z}} \dots \dots \dots (6^I)$$

Таким образом формулы (6) и (7)  $(6^I)$  и  $(7^I)$  позволяют по имеющемуся значению  $\Delta$  } - глубины камеры, при выбранной пленке  $\mathcal{L}$ , и освещении  $\lambda$  указать такие  $\beta$  и  $\frac{2a}{f}$ , при которых с надежностью  $K_N$  будет получено разрешение снимков светящихся капель на треках пролетевших частиц.

II. Освещенность фотографического пространства и мощность импульсных ламп

Обозначим через  $E_0$  количество световой энергии, падающей на единицу фотографируемой поверхности в средней части камеры за одну вспышку лампы. Тогда на каплю диаметром  $d_{\text{капл}}$  упадет следующее количество световой энергии (светосумма капли):

$$Q = E_0 \frac{\pi d_{\text{капл}}^2}{4} \dots \dots \dots (8)$$

Принимаем, что количество света  $Q$  в телесный угол  $4\pi$  капля рассеивает полностью.

Опытами Уэбба установлено (см. Дж. Вильсон Камера Вильсона, стр. 66 + 69), что капля в разных направлениях рассеивает свет с разными интенсивностями. Максимум интенсивности рассеивания имеет место вперед при  $\theta = 0^\circ$  и дальше по Уэббу соответствует следующей таблице:

Угол рассеивания в градусах	Относительная интенсивность		
	Для капель воды	Для капель смеси воды со спиртом	Среднее значение по приведен. графику
0°	1	1	1
20°	1	0,63	0,815
40°	0,12	0,13	0,125
60°	0,025	0,047	0,036
80°	0,008	0,02	0,015
100°	-	0,01	0,010
120°	-	-	0,008
140°	-	-	0,009
160°	-	-	0,010
180°	-	-	0,010

Тогда в направлении  $\gamma$  по отношению к падающему свету, в элементарном телесном угле  $d\omega$  будет распространяться следующая часть светосуммы:

$$dQ_0 = I(\gamma) \cdot d\omega = I_0 f(\gamma) \cdot d\omega$$

Здесь  $f(\gamma)$  - некоторая функция направления  $\gamma$ , заданная таблицей Узбба;  $I_0$  - относительная сила светосуммы при  $\gamma = 0$ ;

$$d\omega = \frac{(R dr) (2\pi R \sin \gamma)}{R^2} = 2\pi \sin \gamma dr - \text{элементарный телесный угол}$$

Все количество рассеянной светосуммы капли определится так:

$$\int dQ_0 = 2\pi I_0 \int_0^{\pi} f(r) \sin r dr \quad (9)$$

Интеграл  $\int_0^{\pi} f(r) \sin r dr$  нетрудно вычислить, пользуясь вышеприведенной таблицей Уэбба. Приблизительно он оказывается равным 0,489.

Сопоставляя (8) и (9), получим

$$I_0 = \frac{\epsilon_0 d_{\text{капл}}^2}{3,91} \dots \dots \dots (10)$$

После этого количество света, которое будет послано рассеивающей каплей через объектив на пленку, может быть выражено так:

$$dQ_{0\sigma} = I_0 f(r_{0\sigma}) d\omega_{0\sigma} \tau_{\varphi},$$

где  $I_0$  выражено при помощи (10),  $f(r_{0\sigma})$  должно быть взято по таблице,  $\tau_{\varphi}$  - коэффициент светопропускания через стекла объектива и камеры, а элементарный телесный угол объектива по отношению к капле

$$d\omega_{0\sigma} = \frac{\pi a^2}{(1 + \frac{1}{\beta})^2 f^2}$$

Следовательно

$$dQ_{0\sigma} = \frac{\epsilon_0 d_{\text{капл}}^2}{3,91} \cdot f(r_{0\sigma}) \frac{\pi a^2}{(1 + \frac{1}{\beta})^2 f^2} \cdot \tau_{\varphi} \quad (11)$$

Как уже было указано, каждая капля на пленке будет изображена центральным ярким кружком с диаметром

$$d_n = 2,44 \lambda (1 + \beta) \frac{f}{2a}$$

Чтобы получить на площадке этого кружка достаточное почернение, необходима световая экспозиция  $H_{\text{эф}}$ , которая определяется светочувствительностью пленки и ее фотографической широтой.

Потребное количество света нетрудно указать

$$dQ_{nл} = \frac{\pi d_n^2}{4} \cdot H_{\text{эф}} \dots \dots \dots (12)$$

Приравнивая (II) и (12) и учитывая, что в кружке с диаметром  $d_n$  сосредоточено около 84 % световой энергии будем иметь

$$E_0 = 27,8 \frac{[(1 + \beta) \frac{f}{2a}]^4}{\beta^2} \left( \frac{\lambda}{d_{\text{капл}}} \right)^2 \frac{H_{\text{эф}}}{f(\gamma_{00}) \tau_{\text{эф}}} \dots \dots \dots (13)$$

Если для частного случая принять

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,0005 \text{ мм}; & d_{\text{капл.}} &= 0,01 \text{ мм}; & f(\gamma_{00}) &= 0,01; \\ \tau_{\text{эф}} &= 0,5, & \text{то} & & & \end{aligned}$$

$$E_0 \approx 13,9 \frac{[(1 + \beta) \frac{f}{2a}]^4}{\beta^2} \cdot H_{\text{эф}} \dots \dots \dots (13^I)$$

Удельная светоотдача  $q_{\text{л}}$  прямых импульсных ламп типа ИФП известна и составляет  $30 + 40 \frac{\text{люменсекунд}}{\text{дж}}$ , а потому, если

M-мощность лампы в джоулях, то ее общий поток светосуммы за вспышку будет таким:

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{л}} \cdot M$$

По опытным данным светосумма на стерадиан вдоль перпендикуляра к оси лампы может быть вычислена по формуле

$$Q_{стер} = \frac{\varphi_{л} \cdot M}{10} \quad (14)$$

От осветителя в камеру войдет светосумма

$$Q_{осв} = \frac{\varphi_{л} \cdot M}{10} \cdot \frac{S_{кам} \cos^2 \varphi_{осв}}{R_{осв}^2} \cdot \tau_{осв},$$

Здесь  $S$  — площадь сечения камеры,

$R_{осв}$  — постоянная осветителя,  $\tau_{осв}$  — коэффициент потерь.

С другой стороны, для камеры необходимо иметь:

$$Q_{потребн} = E_0 \cdot S_{кам}$$

Сопоставляя  $Q_{потребн.}$  с тем, что выдаст

осветитель, т.е.  $Q_{осв.}$ , получим:

$$M = \frac{10 E_0 R_{осв}^2}{\varphi_{л} \tau_{осв} \cdot \cos^2 \varphi_{осв}} \quad \text{джоулей} \quad (15)$$

О ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ, РАЗРАБОТАННЫХ  
ЛЕНИНГРАДСКИМ ИНСТИТУТОМ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ОПТИКИ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Э.М. Лившиц

(Ленинградский Институт точной механики и оптики)

Фотограмметрическая аппаратура, разработка и изготовление которой производилось в ЛИТМО, предназначена для стереоскопического фотографирования и стереофотограмметрической обработки снимков следов частиц высокой энергии.

В комплект указанной аппаратуры входят: стереофотокамеры, визир, предназначенный для визуального просмотра фотографируемого объема, стереоскопы, репроекторы, измеритель кривизны.

Основные характеристики стереофотокамеры:

Фотографируемый объем 500 x 500 x 150 мм

Масштаб фотографирования 1/10

База стереосъемки - 300 мм

Размер кадра 50 x 50 мм

Ширина пленки - 63 мм.



Стереофотокамеры укомплектованы объективами "РУССАР-ПЛАЗМАТ БВ" (фокусное расстояние  $f_{об} = 65$  мм; угол поля зрения  $2\beta = 70^\circ$ ; относительное отверстие 1/4,5). Фотообъективы "РУССАР-ПЛАЗМАТ БВ" специально рассчитаны для фотографирования через стекло толщиной 85 мм и обеспечивают при этом ортоскопическое изображение хорошего качества.

Для получения удовлетворительной точности фотографической обработки снимков при конструировании аппаратуры особое внимание было уделено выбору оптимальных фотограмметрических характеристик стереофотокамер (базис съемки, масштаб изображения). Для этой же цели при сборке и юстировке стереофотокамер была обеспечена идентичность их фотограмметрических характеристик.

Юстировка сводилась, в основном, к обеспечению правильного положения объективов относительно главных точек правого и левого снимков, выгравированных на поверхности компенсационных стекол. Сторона компенсационного стекла с гравировкой определяла положение плоскости изображения (кадра). В процессе сборки обеспечивалась параллельность (точность 1') компенсационных стекол камер и производилась гравировка марок, определяющих положение главных точек снимков. Расстояние между главными точками снимков точно соответствовало базе съемки. Задние узловые точки объективов совмещались с линиями, проведенными из главных точек снимков перпендикулярно плоскости кадра /точность 1"/, путем перемещения объектива вдоль направления базы и в поперечном ей направлении.

Равенство главных расстояний фотокамер (равномасштабность) достигалась путем перемещения объективов вдоль оптической оси.

Как показала экспериментальная проверка, благодаря большим численным значениям базы и масштаба изображения (пленка широкоформатная) и благодаря строгой выверке элементов внутреннего ориентирования правой и левой фотокамер и их взаимного ориентирования, удалось получить среднее значение ошибок в измерении координат точек следов в пространстве объекта  $\approx 0,5$  мм.

Конструктивно съемочная часть установки выполнена в виде отдельного блока, предназначенного для установки в отверстие в полюсе электромагнита, в межполюсном зазоре которого помещена камера Вильсона.

В целях удобства эксплуатации и сборки механизмы фотокамер размещены в отдельных корпусах:

- 1) объективная головка
- 2) лентопротяжный механизм
- 3) приводной механизм.

В корпусе объективной головки укреплены:

а) три фотообъектива (средний для получения центральной конической проекции рабочего объема камеры и два крайних - база 300 м - для получения стереопары снимков рабочего объема);

б) затвор, работающий от электромагнита синхронно с импульсными лампами;

в) Компенсационные стекла, служащие для компенсации дисторсии, вносимой защитным стеклом камеры Вильсона; компенсационные стекла служат одновременно с этим и базой для ориентирования пленки в пространстве изображения;

Лентопротяжный механизм имеет три канала для перфорированной пленки шириной 63 мм; устройства для выравнивания пленки, путем прижима ее к плоскости компенсационных стекол объективной головки; кинематический привод прерывистого действия для перемотки пленки; подающие и приемные кассеты вместимостью по 150 м пленки и нумератор, впечатывающий на пленку порядковый номер кадра и номер объектива. В лентопротяжном механизме предусмотрены устройства для сигнализации о различных неполадках в работе фотокамер, как-то: обрыв пленки, конец пленки, прекращение перемотки.

Приводной механизм включает в себя двигатель с редуктором, вращение которого передается на три канала лентопротяжного механизма.

Минимальный интервал между снимками составляет 1/10 сек. Управление и контроль за работой съемочной камеры осуществляется дистанционно с пульта управления.

Визир, предназначенный для просмотра фотографируемого объема камеры, монтируется так же как и блок стереофотокамеры в отверстии электромагнита.

Технические данные визира:

Увеличение  $\Gamma_x$ , угол поля зрения  $2\beta = 70^\circ$ , диаметр зрачка выхода - 6 мм, удаление зрачка выхода от последней поверхности окуляра - 27 мм, диоптрийная установка - 6 диоптрий, разрешающая способность - 30 угловых секунд.

Обрабатывающая фотограмметрическая аппаратура, как указывалось ранее, состоит из трех приборов: стереоскопа, репроектора и измерителя кривизн.

Увеличение окуляров стереоскопа - 2x, диаметр зрачка выхода 10 мм. Значительное увеличение зрачка выхода окуляра стереоскопа против обычно принятого (4 мм) произведено с целью отказа от необходимости регулировки прибора по базе глаз. Стереоскоп выполнен специально для просмотра пленки шириной 63 мм, снабжен осветительным устройством (лампа и конденсор), обеспечивающим равномерное освещение кадров левого и правого снимков, и катушками для пленки.

Репроектор сконструирован по типу универсальных двойных проекторов (мультиплексов). Этот прибор укомплектован рисовальным столиком для измерения координат следов оптической стереомодели и ориентирующими столиками для первоначальной ориентации модели относительно мраморного экрана. Для репроекции применена оптическая головка стереофотокамеры, которая привинчивается к базовой плите. На этой же базовой плите размещены три осветителя и укреплены специальные приспособления для ориентации снимков относительно штрихов, награвированных на компенсационных стеклах оптической головки, и катушки для перемотки пленки.

В конструкции репроектора предусмотрена возможность установки перед проекционными объективами стеклянных пластинок, толщина и оптические константы которых соответствуют защитным стеклам камеры Вильсона.

Для установки репроекционной части относительно мраморной плиты служат рукоятка и два маховика.

Оптическая стереомодель следов создается в воображении наблюдателя, благодаря разделению изображений правого и левого снимков анаглифическими фильтрами, установленными в ходе лучей крайних осветителей и соответствующими анаглифическими очками.

Плоскостность мраморного экрана проектора - 0,1 мм, точность отсчета координаты "  $Z$  " рисовальным столиком 0,05 мм. Координаты "  $x$  " и "  $y$  " получаются путем накола иглой бумаги, укрепляемой на мраморной плите. Средний проектор служит для получения центральной проекции объема камеры Вильсона и может быть применен для дополнительных измерений кривизны следов.

Измеритель кривизны ЛИТМО, в отличие от измерителя кривизны ГОИ ИГ-22, основан на принципе сравнения изображений следов на пленке с эталонными кривыми. В приборе имеется пластинка с нанесенной на ее поверхности 2I-ой эталонной кривой.

Эталонные кривые выполнены в виде биссекторов и имеют радиусы кривизны от  $R = 2$  см до  $R = 4,5$  м.

Изображение следов на пленке совместно с биссекторами проектируется на экране с увеличением в 3,5 раза.

Измерение производится путем совмещения следа с соответствующим биссектором, для чего в приборе предусмотрена возможность перемещения пленки, пластинки с биссекторами и оптического компенсатора. Оптический компенсатор перемещается вдоль оптической оси прибора. При этом в небольших пределах изменяется масштаб изображения эталонных кривых и достигается получение на экране прибора биссекторов, кривизна которых может принимать промежуточное значение по отношению к эталонным кривым пластинки. Значения радиусов кривизны измеряемых следов может быть получено по показаниям прибора при помощи градуировочной таблицы. Предполагаемая точность измерений радиусов кривизны изображений следов на пленке (для следов хорошего качества) не ниже, чем у прибора ИГ-22.

На приборе дополнительно предусмотрена возможность измерения углов между изображениями следов на пленке, что достигается поворотом пластинки с эталонными кривыми и последовательным совмещением биссекторов с выбранными следами.

В разработке фотограмметрической аппаратуры ЛИТМО принимали участие сотрудники кафедры оптико-механических приборов и конструкторского бюро института. Руководил работой профессор М.М.Русинов. Большую помощь институту в разработке указанной аппаратуры оказали сотрудники ЛВЭ ОИЯИ Э.В.Козубский и И.А.Ивановская.

#### Д и с к у с с и я

П.А.Черенков (ФИАН).

Если третий фотоаппарат предназначен для более поздних снимков, то нужны ли для его работы дополнительные вспышки ламп?

Лившиц.

Да. Вообще это дело физиков, которые это задумали. Кажется, они хотели давать вспышку дополнительно.

Вопрос с места

Тогда нужна дополнительная операция.

Лившиц.

Это есть. Здесь есть затвор. Когда работают крайние лепестки, можно сделать так, что средний объектив будет закрыт вообще.

С места.

Практика показывает, что снимки приходится нумеровать, снимки получающиеся в большом количестве.

Лившиц.

В лентопротяжном механизме камеры у нас для каждого объектива имеется свой счетчик. Причем три счетчика работают синхронно. Номер счетчика впечатывается в угол пленки. Впечатывается и номер объектива, потому что самая последняя цифра счетчика неподвижна, а четыре последующие перемещаются вслед за перемоткой пленки, причем по номеру объектива можно при проекции пользоваться той же объективной головкой и при этом точность должна **намного** повыситься.

Горбунов А.Н. (ФИАН).

В чем состоит преимущество такого метода сравнения для измерения кривизны по сравнению с обычным методом шаблонов, который применяется?

Во-вторых, вы назвали точность измерения 1%. Эта точность относится к длине следа.

Лившиц.

Мы имели в виду разработать прибор, который мог бы дать возможность в большом диапазоне измерять кривизну. Причем преимущество этого прибора, по-нашему мнению, должно было состоять в том, что здесь в отличие от микроскопа, который по существу, не приспособлен для измерения пленок, конструктивно сделано все необходимое для того, чтобы этот процесс сделать очень удобным и проводить его довольно быстро.

Мы не имеем опыта непосредственной работы с этим прибором. Он еще не изготовлен. Я не могу сопоставить его с другим прибором, о котором сейчас докладывали, но, нам представляется, что этот прибор может оказать немалую услугу при измерении кривизны.

Насчет длины следа. Увеличение этого прибора - 3,5х размер экрана = 200 мм x 200 мм. У нас на эталонной пластинке максимальная длина этого эталонного биссектора 50 мм. Причем объектив, который изображает эталонную пластинку, работает примерно с увеличением  $I : I$  в среднем. Получается, что мы можем измерять кривизну изображения следа на пленке длиной 50 мм.

С места.

Точность в 1%, по-видимому, относится к следу длиной 20 см в камере Вильсона?

Лившиц.

По всей вероятности, это так.



С места.

Какие есть приспособления в репроекторе для измерения?

Лившиц.

Если вы разрешите, я вам эти приспособления покажу. Здесь показана объективная головка, которая имеется в Лаборатории высоких энергий. Компенсационные пластинки имеют точки для строгой ориентации пленки. К этой пластинке пленку поджимает столик, с целью ее выравнивания, с целью повысить точность измерения.

Съемочная камера состоит из отдельных узлов. На первом диaposитиве вы видели объективную головку. Она прикрепляется к кассетному блоку.

Имеется эксцентрик для прижима пленки, а также номератор, вписывающий на пленку номера. Кроме того, имеются контакты, которые сигнализируют оператору на пульт об исправной работе камеры; в случае обрыва пленки или ее окончания автоматически останавливается фотографирование. Вместимость кассеты 150 м пленки.

Сейчас я смогу ответить на вопрос о репроекторе.

Здесь представлена установка для репроекции. Как видно, под конденсорами стоит та же объективная головка, при помощи которой производилось фотографирование. На головке непосредственно укрепляются три осветителя, причем изображение проектируется на мраморный экран. В осветители устанавливаются анаглифические фильтры. Изображения рассматриваются с помощью анаглифических очков. Для измерения

употребляется рисовальный столик. Этот метод широко применяется в аэрофотосъемке при обработке результатов. Поэтому конструкция этого столика целиком и полностью заимствована

у геодезистов. Здесь же имеются ориентирующие столики, которые служат для предварительной ориентировки модели.

Кроме того имеется реостат для регулирования яркости лампы.

Имеется штурвал для качания для разных первичных установок проекционной камеры и балка, на которую, по идее, должно укладываться стекло, взамен защитного стекла на камере Вильсона.

Вопрос.

Углы как можно измерить?

Лившиц.

Здесь можно измерить координаты, можно отсчитать координаты  $x, y, z$ . Здесь показано устройство для резки пленки (рис).

Последний снимок (рис.) - это перфоратор, специально приспособленный для перфорирования пленки в 63 мм.

Вопрос с места.

Чем вызвано то, что вы взяли пленку в 63 мм? Ведь стандартный размер - 60 мм.

Лившиц.

Мы стараемся применять возможно больший размер пленки с тем, чтобы повысить точность измерений координат трека.

В промышленности не было пленок шириной примерно 70 мм, были только кинопленки. Поэтому мы по согласованию с Лабораторией высоких энергий выбрали этот размер и модернизировали для этой цели специальный перфоратор. Вообще мне кажется, вопрос о размерах пленки надо специально поставить, потому что при исследовании процессов в камере трудно ограничиться одним размером пленки в 35 мм, надо иметь размеры хотя бы в 70-60 мм и делать соответствующие фотоаппараты с тем, чтобы добиваться нужной точности измерения координат.

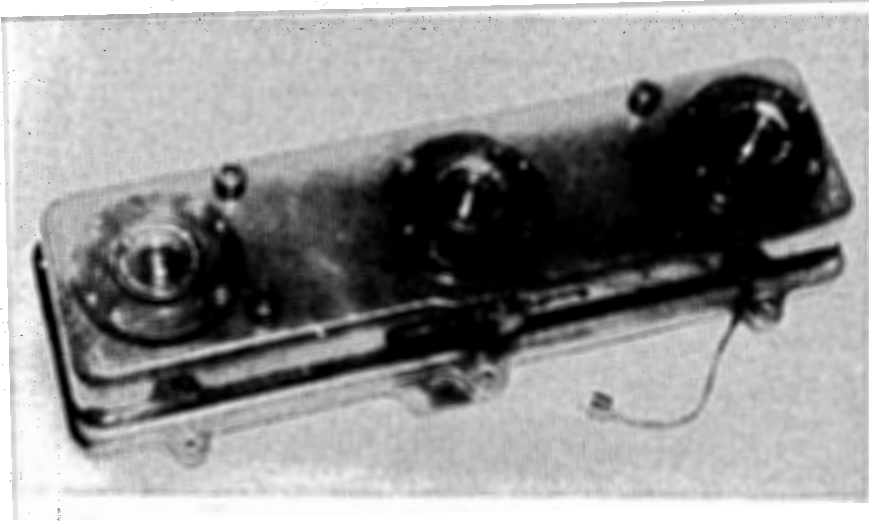


Рис. I. Объективная головка стереофотоаппарата.

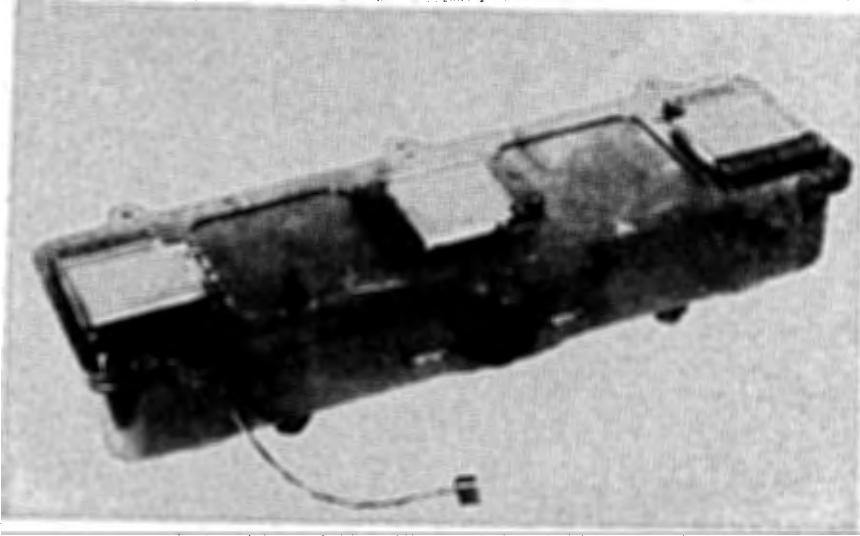


Рис. 2. Объективная головка стереофотоаппарата (вид на компенсационные стекла).

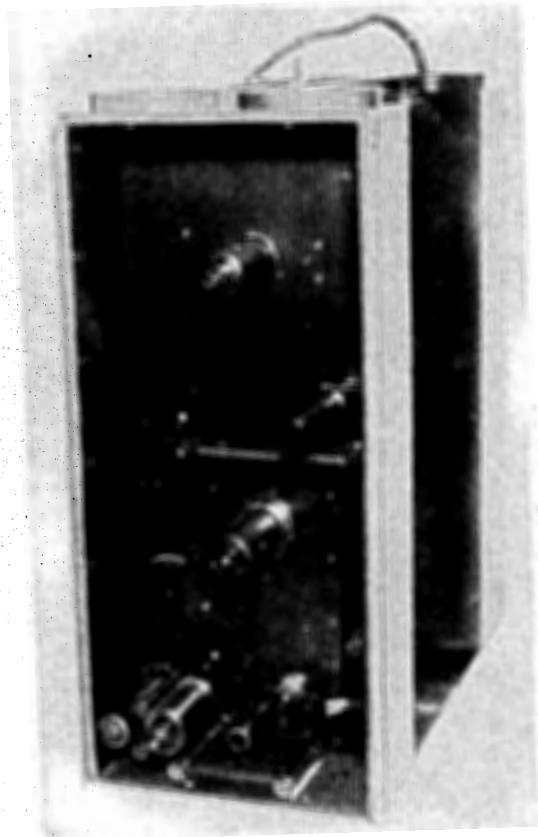


Рис. 3. Лентопротяжный механизм стереофотокамеры (крышка и кассета сняты).

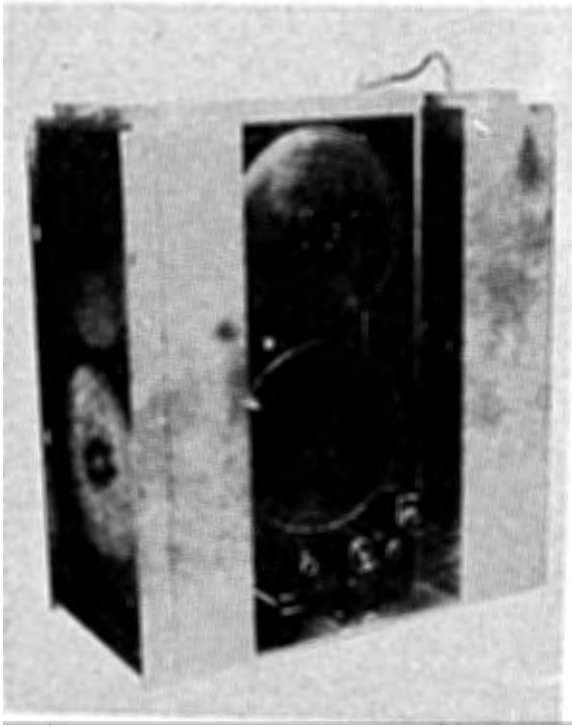


Рис. 4. Лентопротяжный механизм стереофотокамеры с кассетами.

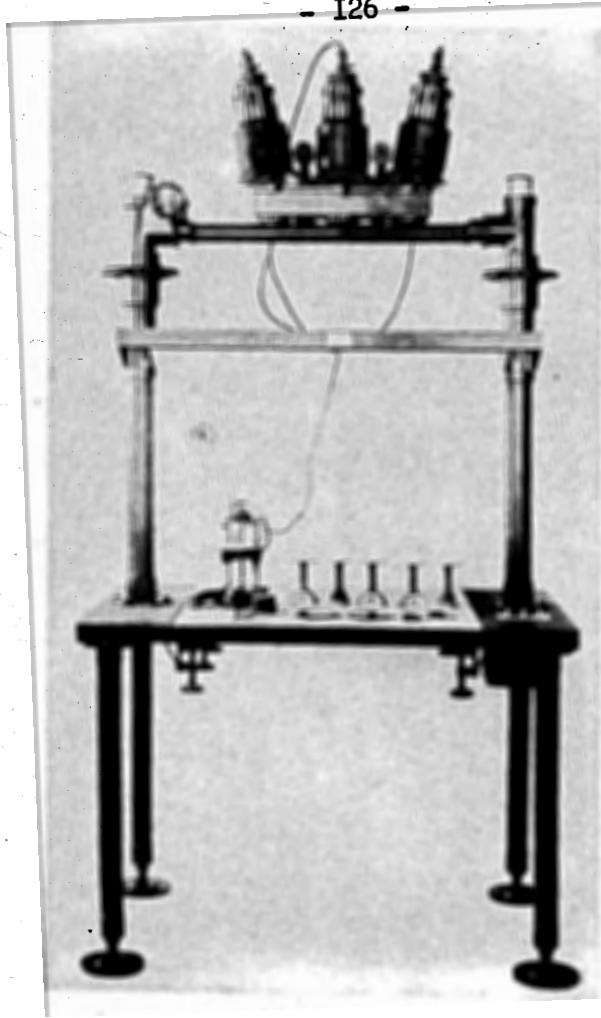


Рис. 5. Репроектор





Рис. 6. Стереоскоп

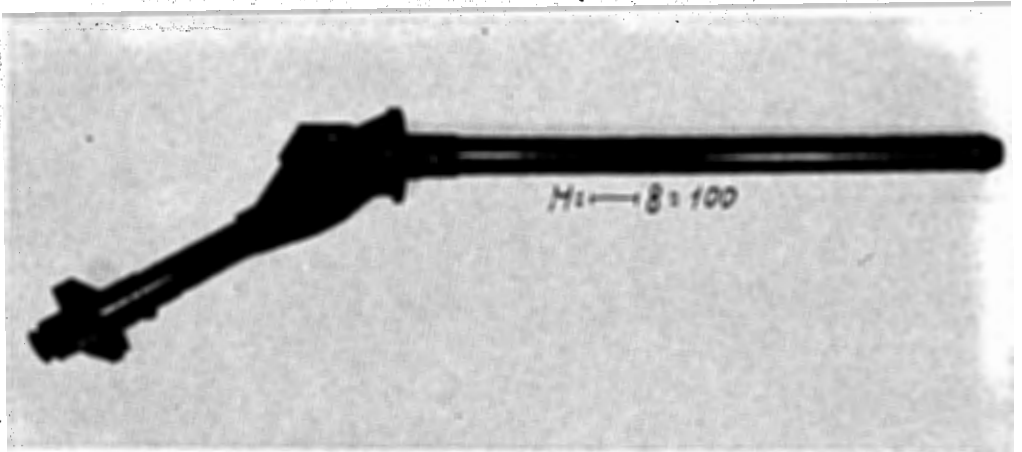


Рис. 7. Зрительная труба

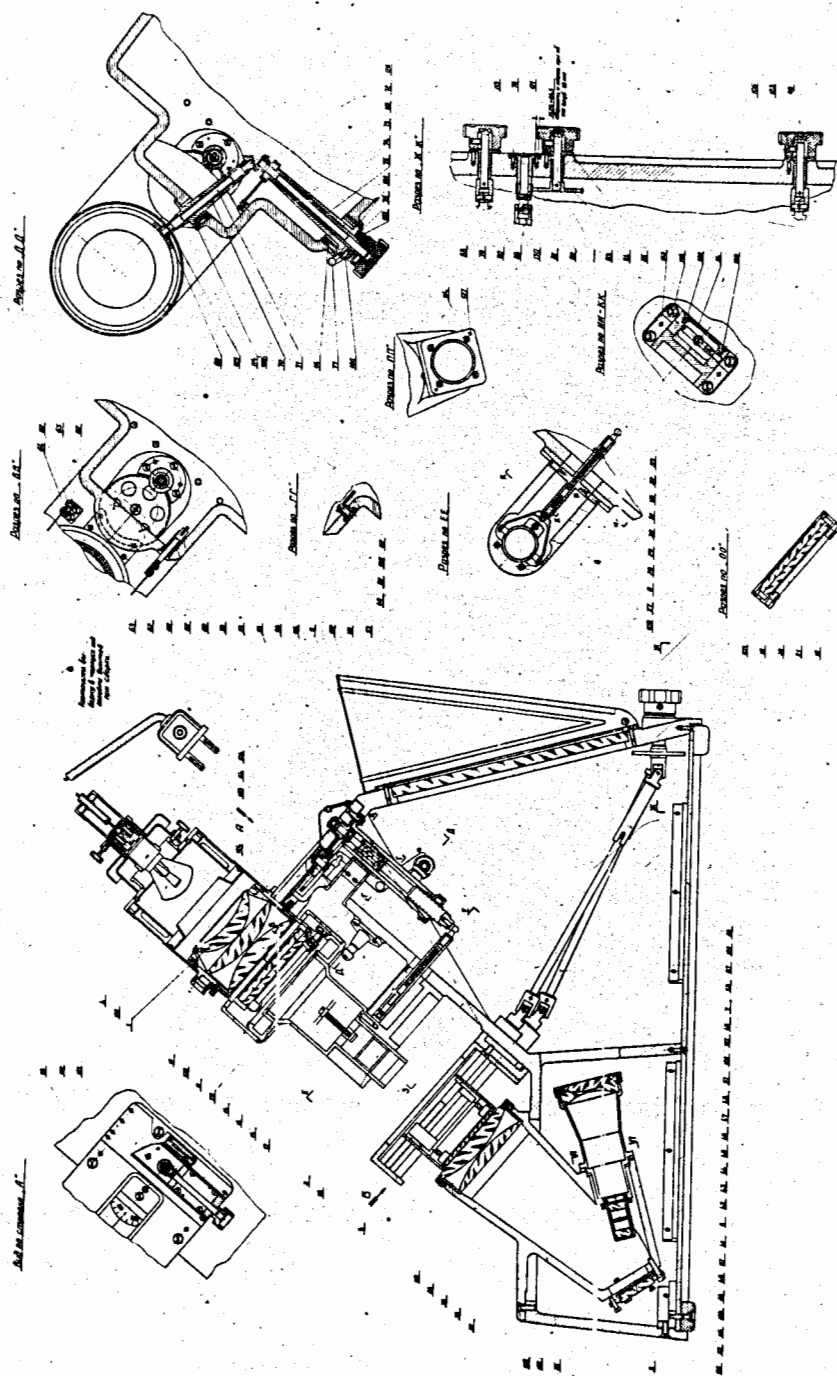
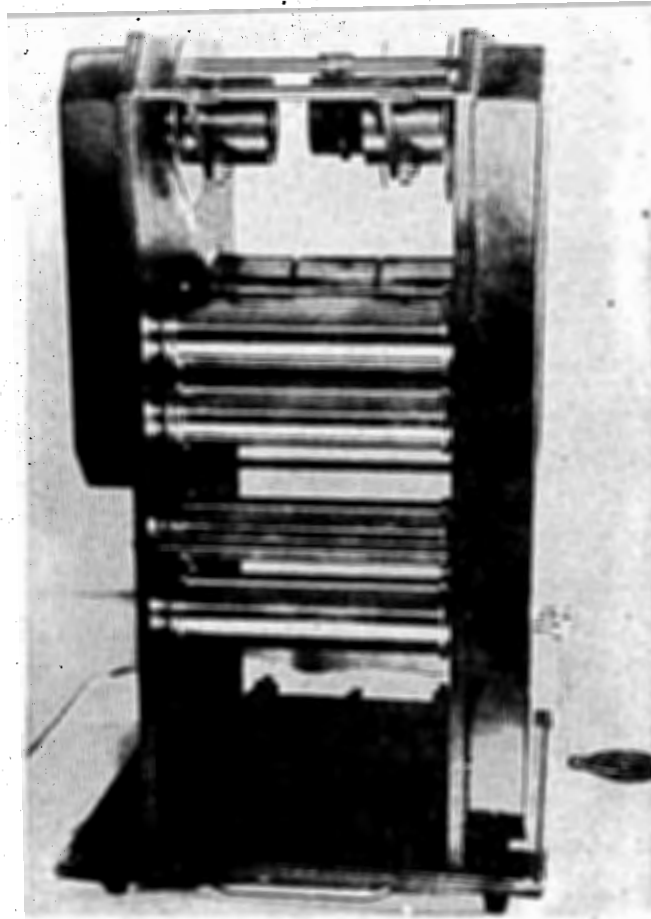


Рис. 8. Измеритель кривизны



М: 10-43

Рис. 9. Станок для нарезки пленки шириной 63 мм.

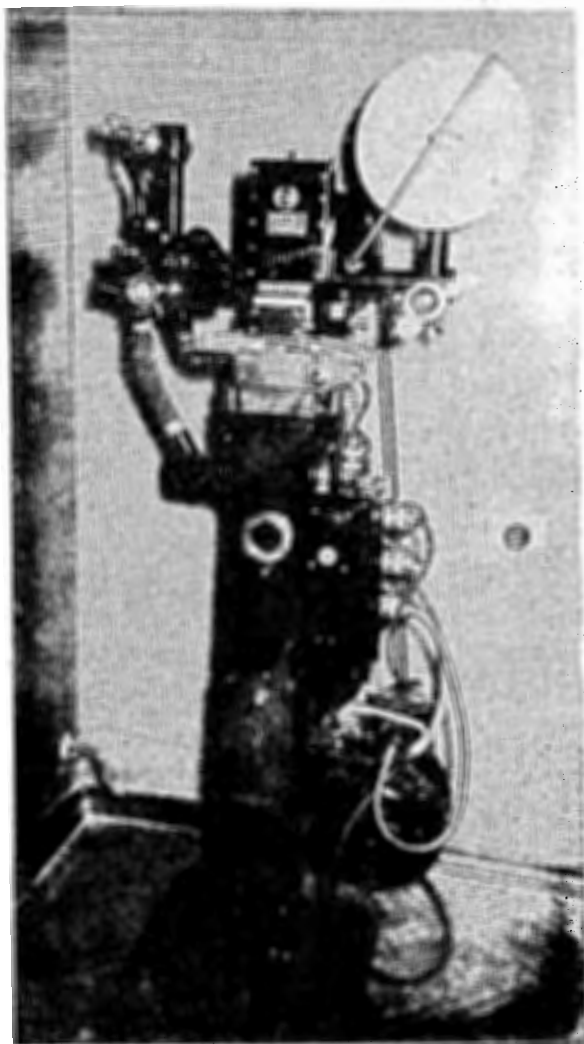


Рис. 10. Перфоратор для пленки шириной 63 мм.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ ФОТОАППАРАТ -  
РЕПРОЕКТОР С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.П.Андреев, Н.Д. Логунов

(Ленинградский Физико-технический институт АН СССР)

В в е д е н и е

Настоящая работа выполнялась авторами в 1953 году. Эта работа заключалась в создании фотоаппарата для одновременно разрабатывавшейся А.П.Андреевым и В.Н.Дыньковым быстродействующей камеры Вильсона, предназначенной для работы, в пучке  $\gamma$  - лучей 100-мегавольтного синхротрона ФТИ АН СССР.

Камера помещалась в магнитное поле стандартного электромагнита, имеющего в своем сердечнике отверстие диаметром 160 мм. В этом отверстии электромагнита и должен был размещаться фотоаппарат.

Стремление к получению наиболее точной репроекции снимков привело к необходимости осуществлять ее тем же самым фотоаппаратом, которым производилась фотосъемка. Это обстоятельство, а также размер отверстия в сердечнике электромагнита, определили форму прибора

в виде цилиндрической фотокамеры с двумя смежными цилиндрическими крышками - одна для фотографирования, а другая, снабженная осветителем - для репроекции.

Учет того, что при фотографировании через отверстие в сердечнике электромагнита, магнитное поле в чувствительном объеме камеры оказывается очень неоднородным и поэтому затрудняет расшифровку полученных снимков, требовал такой компоновки деталей аппарата, чтобы тот же самый аппарат можно было бы применять и при съемке сбоку с помощью плоского зеркала. В этом случае отверстие в сердечнике электромагнита закрывается специальной пробкой. Размещение камеры Вильсона и наклонного зеркала в межполюсном пространстве электромагнита оказалось возможным за счет удаления верхнего полюсного наконечника и, таким образом, выигрыш в однородности магнитного поля повлек проигрыш (примерно на одну треть) в величине его напряженности.

Ниже приводятся основные соображения по устройству фотоаппарата, которые были реализованы при изготовлении его первого экземпляра.

#### Описание аппарата

Фотоаппарат изготовлялся для работы на стандартной 35 мм киноплёнке с объективами "Биотар"  $f = 40$  мм. Стереоскопический

угол при базе в 65 мм составляет  $8^{\circ}$ . Размер кадра  $35,4 \times 24$  мм<sup>2</sup>.

Емкость кассет - 75 м пленки, что обеспечивает получение почти 1000 стереокадров на один заряд.

Аппарат состоит (см. рис. 1 и 2) из цилиндрического кожуха, диаметром 160 мм (в котором размещены: лентопротяжный механизм, объективы, затворы и детали светопровода), двух сменных цилиндрических крышек, несущих вспомогательные устройства для фотосъемки и для репроекции, двух торцовых крышек - одна для предохранения объективов, другая - для предохранения кулачкового механизма и крепления деталей светопровода. Рабочее положение пленки на рис. 1 и 2 отмечено штриховой линией. Механизм перемещения пленки смонтирован на плоском латунном основании. Нестандартные ведущие барабаны 128 (по 15 зубцов) связаны между собой зубчатой передачей, что позволяет для двух барабанов использовать один мальтийский крест 34, приводимый в движение посредством системы зубчатых и червячных пар (см. кинематическую схему рис. 3) от электромотора типа ТГ-41, 3000 об/минуту<sup>х</sup>). С помощью пружинных скоб 154, 155 пленка поджимается к ведущим барабанам 128. Направляющие ролики 148 подводят ее к фокальной плоскости объективов 211. Нижняя кассета 38 фрикционно связана с механическим приводом от электромотора. Для придания пленке правильной формы,

---

х) Такой мотор был запроектирован и поставлен в первом экземпляре аппарата, так как по проекту вышеуказанной камеры Вильсона А.П. Андреева и В.Н. Дынькова рабочий цикл должен был составлять 8 сек. Однако уже в первых испытаниях, сделанных весной 1954 года, было установлено, что длительность рабочего цикла этой камеры, даже при наполнении ее аргоном с парами спирта и воды, составляла только 10 секунд с тенденцией к дальнейшему уменьшению, особенно при наполнении гелием, поэтому в следующих экземплярах нужна замена мотора (6000 об/мин).



она перед съемкой автоматически зажимается плоскопараллельными стеклянными пластинками I42, I43. Пластинки I42, обращенные к объективам, жестко укреплены на рамках 22I, а на их поверхностях, соприкасающихся с пленкой, нанесены продольные и поперечные риски толщиной в 12 мк, назначение которых - давать возможность проводить точное совмещение положения пленки при репроекции с ее положением при съемке. Необходимая при этом подстройка осуществляется специальным устройством с микрометрическими винтами 230, а для компенсации изменения размеров пленки, возникающего при длительном хранении, предусмотрено устройство натяжного ролика I20, позволяющего изменением натяжения пленки добиваться совмещения поперечных рисок на плоскопараллельных стеклах и их изображений на пленке. Для устранения трения чувствительной поверхности пленки о стекло во время ее протягивания, рамки 22I снабжены роликами, касающимися только перфорированной части пленки.

На рис. I изображена также и крышка, применяемая при фотосъемке. На ней укреплены призма I44 и ахроматическая линза I4I, являющиеся составными частями светопровода, позволяющего вести одновременное фотографирование на том же самом кадре, кроме основного явления в камере Вильсона, шкалы прибора указателя интенсивности, счетчика и часов или какого-нибудь другого прибора, находящихся вне фотокамеры и электромагнита. На выполненном образце одновременное фотографирование осуществляется с обратной стороны фотопленки (см. рис. 4, изображающий ход лучей при съемке приборов, находящихся вне камеры). Необходимые для этого длиннофокусный объектив Об., затвор ЗТ и призма 277

крепятся на верхней торцевой крышке фотоаппарата. При этом изображение шкалы III прибора указателя интенсивности посредством зеркала 3, счетчика Сч и циферблата часов 2 непосредственно фокусируются в плоскости  $F_1$ , а полученное здесь изображение, с помощью ахроматической линзы I4I и призмы I44 фокусируется на пленку.

Подбором формы зеркала 3 и выходного окна в призме I44 можно осуществить такое расположение изображения камеры Вильсона и шкал внешних приборов, при котором шкала прибора указателя интенсивности будет воспроизводиться на кадре с наибольшим допустимым размером при незначительной затрате площади кадра, так как на нем фотографируется только лишь шкала прибора и притом концентрически с изображением боковых стенок камеры Вильсона. Такое расположение изображений на кадре показано на рис.5

Общее расположение всего устройства, вместе с камерой Вильсона, стандартным электромагнитом и импульсной лампой для освещения внешних приборов, схематически изображено на рис.6.

При репроекции применяется вторая сменная крышка с осветителями. Ее расположение на аппарате и разрез осветителя представлены на рис.7. Специальный конденсор осветителя составлен из двух линз 92 и 97 и плоского зеркала 93. В осветителях применены кинолампы - 96 при напряжении 10 в. и токе 5 А. С помощью вогнутого зеркала 94 достигается лучшее использование света. Охлаждение осветителей достигается продуванием воздуха, а поглощение тепловых лучей производится кюветой с циркулирующим в ней раствором медного купороса<sup>x)</sup>.

---

x) Кювета на чертеже не показана.

### Включение и работа фотоаппарата

При включении аппарата в сеть, см. рис. 8, электромагнит С зажимает фотопленку между стеклянными плоскопараллельными пластинами, одновременно электромагнит С' открывает фотозатворы. Аппарат готов к съемке. Во время фотосъемки часть света от импульсной лампы подается на фотоэлемент (на схеме не показано); возникающий при этом фототок усиливается и подается на зажимы А и Б. Реле  $Р_e$ , бывшее до сих пор отключенным от сети, замыкает контакты А и Б - чем включает свою обмотку на питание от сети (до тех пор пока не произойдет ее выключение, из-за выхода пальца П кулачкового механизма из впадины на диске КМ). Одновременно с этим размыкаются контакты Ж и  $Е'$ , питание электромагнитов С и С' прекращается, подвижная стеклянная пластинка I43 отходит, освобождая фотопленку и создавая этим для нее возможность свободного перемещения, фотозатворы закрываются. Замыкание же контактов Д и Г включает электромотор-М, отчего диск КМ поворачивается и выводит палец П из впадины на цилиндрическую поверхность диска КМ. Но теперь, хотя и происходит размыкание питания реле  $Р_e$ , через контакты Л и М, мотор остается включенным от соединения контактов И и К, а питание электромагнитов С и С' остается выключенным из-за размыкания контактов Н и О. Когда палец П, снова окажется во впадине диска КМ, то схема возвращается в исходное положение.

В случае обрыва или окончания пленки ролики I48 пружинной скобы ПС, обычно изолированные от корпуса, образуют электрический

контакт с ведущим зубчатым барабаном I28; при этом включается реле  $Pe_2$ , замыкающее ТУ, питающее фотоаппарат, и одновременно включающее сигнальную лампу С.Л.

Протягивание киноплёнки производится попеременно на один и на три кадра - как это указано на рис.9. Этим обеспечивается полное ее использование без пропусков.

В таком решении задачи существует также то преимущество, что при репроекции, каждое отверстие перфорации должно располагаться точно на тех же самых зубцах барабана, на которых оно находилось во время фотосъёмки. Это значит, что дефекты изготовления барабанов и их монтажа (эксцентричность, перекосы и т.д.) не смогут оказывать влияния на точность совмещения поперечных рисок на плоскопараллельных пластинах и плёнке.

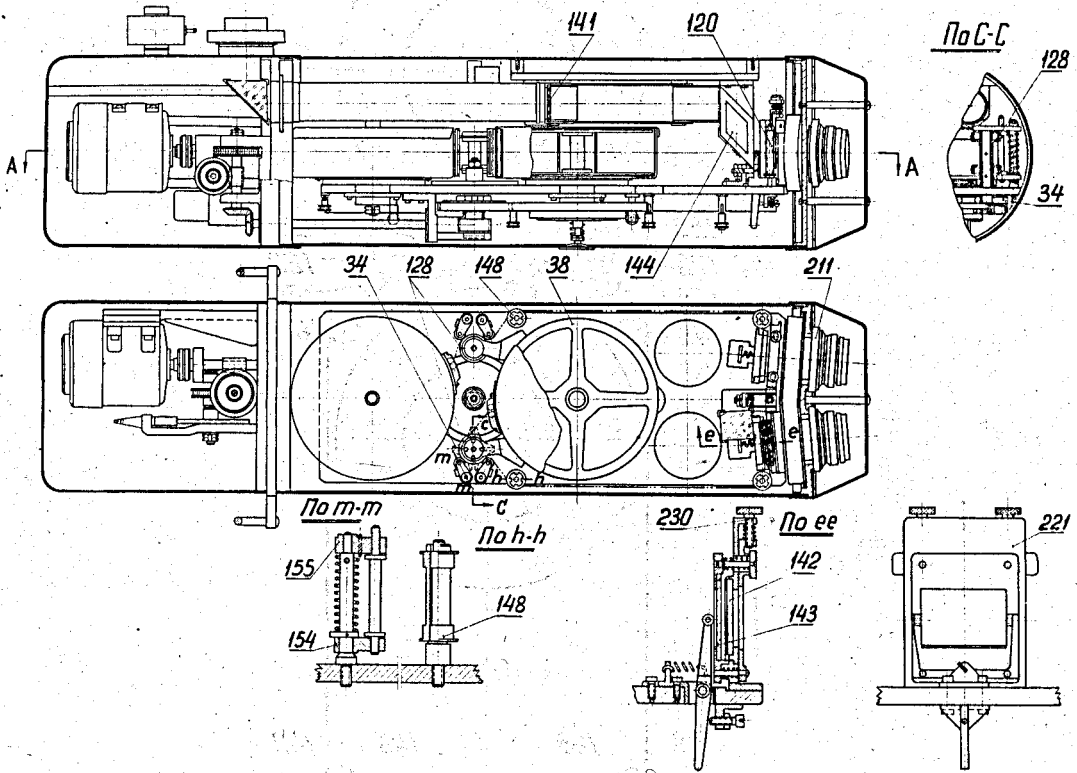


Рис. I - Общий вид аппарата. Обозначения: 128 - зубчатые барабаны, 34 - мальтийский крест, 212 - электромоторы, 38 - кассета, 154, 155 - пружинная скоба, 148 - направляющий ролик, 211 - объектив, 142, 143 - стеклянные плоскопараллельные пластинки, 230 - установочные микрометрические винты, 120 - натяжной ролик, 221 - рамка, 144 - призма, 141 - ахроматическая линза.

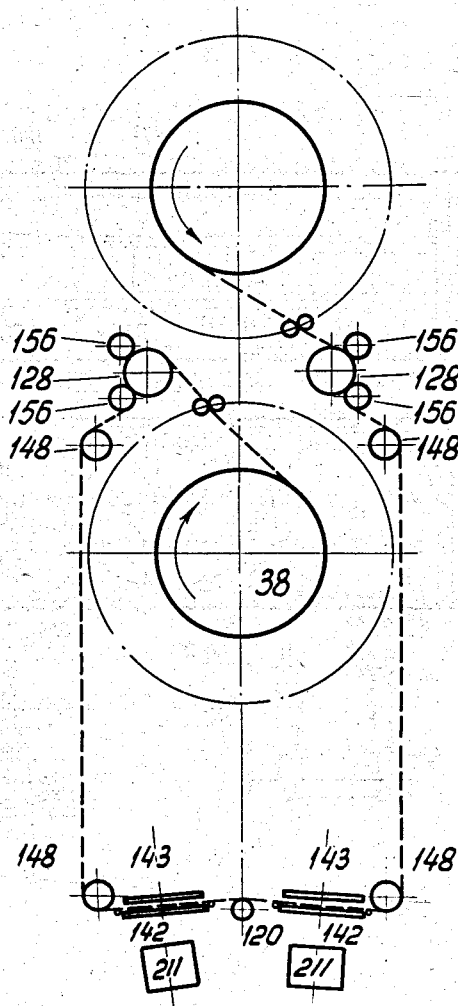


Рис. 2 - Схема движения пленки. Обозначения как на рис.1.

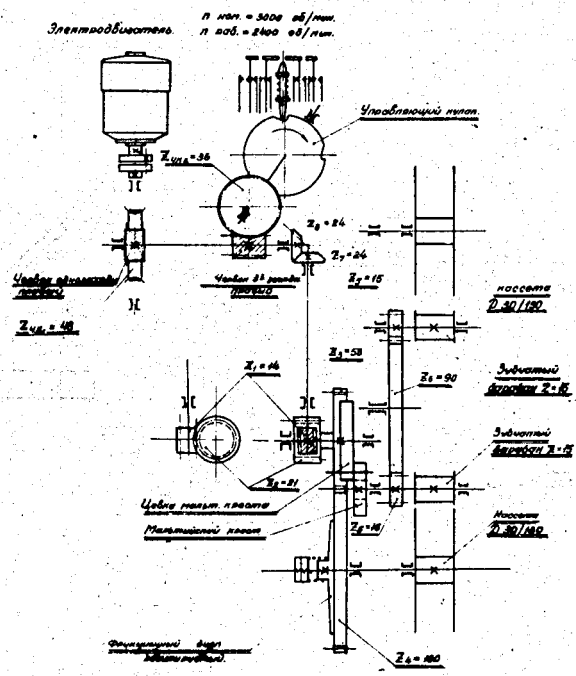


Рис. 3 - Кинематическая схема фотоаппарата.

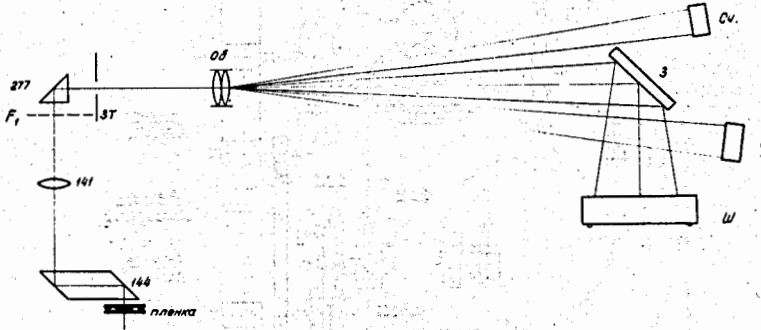


Рис. 4 - Ход лучей при съемке шкал внешних приборов.  
Обозначения: Об - длиннофокусный объектив, Зт - затвор,  
277 - призма, Ш - шкала прибора, З - зеркало,  $F'$  -фокаль-  
ная плоскость, 144 - вторая призма, Сч - шкала счетчика,  
Ч - циферблат часов.



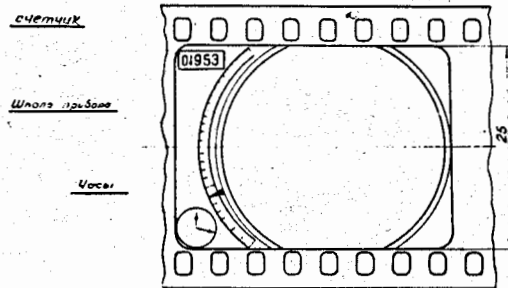


Рис. 5 - Расположение изображений на кадре.

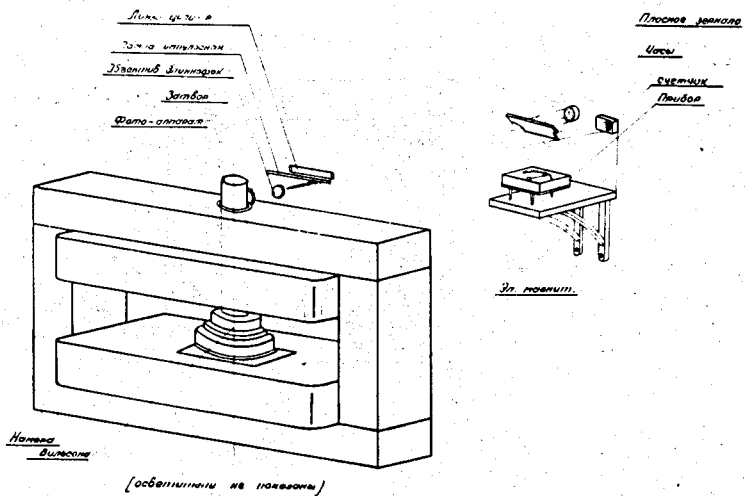


Рис. 6 - Общее расположение основных элементов устройства

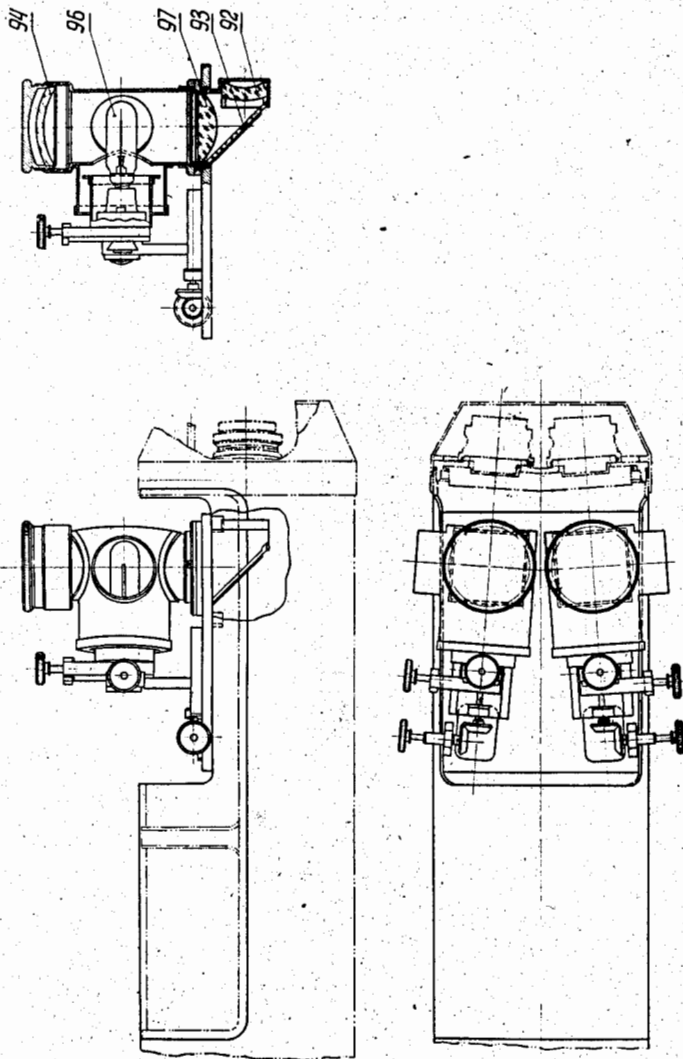


Рис. 7 - Сменная крышка репроектора на аппарате.  
Обозначения: 96 - кинолампа, 92, 97 - линзы,  
93 - плоское зеркало, 94 - вогнутое зеркало.

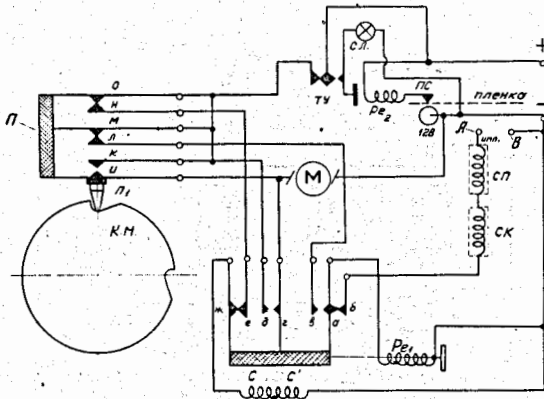


Рис. 8 - Электрическая схема фотоаппарата.

Обозначения: П - переключатель, КМ - кулачковый механизм, М - электромотор, С.Л. - сигнальная лампа, Р<sub>з</sub> - реле, СП - счетчик пульта, СК - счетчик камеры, С - электромагнит прижима пленки, С' - электромагнит затворов.

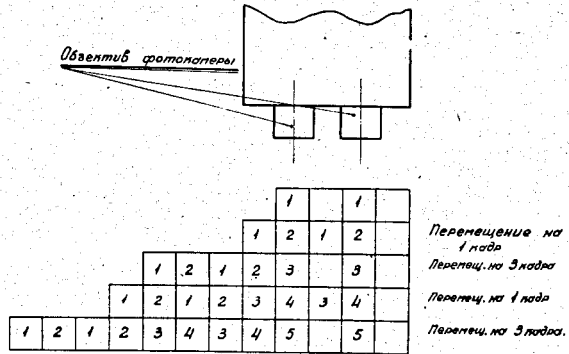


Рис. 9 - Схема перемещения пленки.