

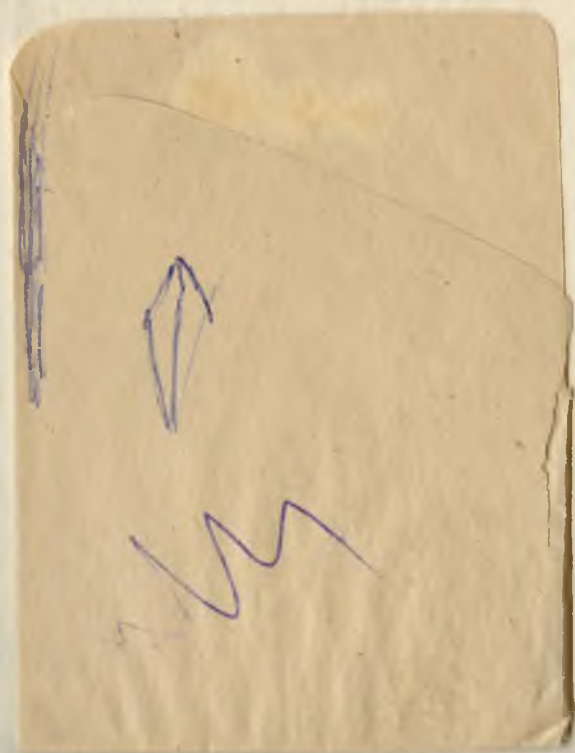
77-019  
3-20  
A 281210

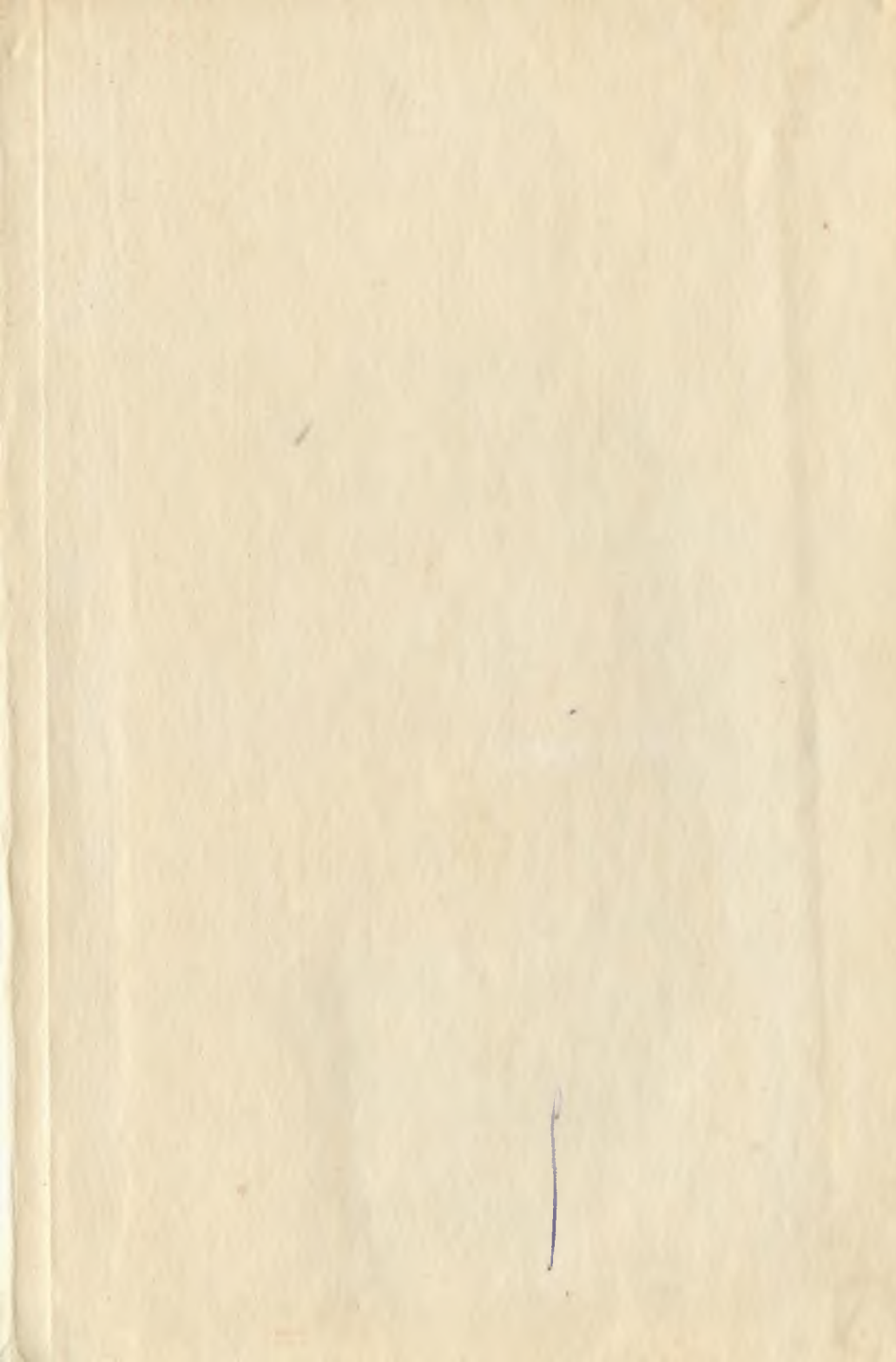
М.И.ЗАКС  
Л.Д.КУРСКИЙ

**ОСНОВЫ  
СВЕТОТЕХНИКИ  
И ЦВЕТОВЕДЕНИЯ  
В ФОТОГРАФИИ**



97







М. И. ЗАКС,  
Л. Д. КУРСКИЙ

# ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ И ЦВЕТОВЕДЕНИЯ В ФОТОГРАФИИ

*Одобрено Министерством  
бытового обслуживания населения РСФСР  
в качестве учебного пособия  
для техникумов*

А 881210

ВОЛОГОДСКАЯ  
областная библиотека  
им. И. В. Бабушкина

МОСКВА  
«ЛЕГКАЯ ИНДУСТРИЯ»  
1978

Рецензенты: Э. Д. Тамицкий, А. В. Фокин

**Закс М. И., Курский Л. Д.**

З-18

Основы светотехники и цветоведения в фотографии: Учеб. пособ. для техникумов.— М.: Легкая индустрия, 1978.—136 с., ил.

В книге рассмотрена светотехника в фотографии — источники света, осветительные приборы, практика их установки и применения при выполнении заказов населения.

В отдельном разделе изложены вопросы цвета и его характеристики, назначение светофильтров, анализ и синтез цвета, а также принцип получения изображения на многослойных цветофотографических материалах.

Книга является учебным пособием для учащихся техникумов.

З  $\frac{32203-063}{036(01)-78}$  63-78

77

## § 1. СПЕКТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Различные виды лучистой энергии образуют спектр электромагнитных колебаний, длина волн которых может быть самых различных значений — от миллионных долей нанометра (космические лучи) до нескольких километров (радиоволны). Рассмотрим спектр электромагнитных колебаний (рис. 1)\*, который можно грубо разделить на три основных участка: излучение с длинами волн от 1 см до сотен километров — радиоволны, от стомиллиардной доли миллиметра и меньше — гамма-лучи, излучение средних между ними волн — оптические. В свою очередь спектр оптического излучения делят на три участка: от 5 до 380 нм — ультрафиолетовые излучения; от 380 до 760 нм — видимое излучение, которое действует на глаз человека и вызывает световые ощущения (это излучение и получило название света); от 760 нм до 1 мм — инфракрасные излучения.

Следовательно, видимые излучения занимают очень малый участок в спектре электромагнитных колебаний, причем каждая длина волны соответствует различному цвету. Наименьшую длину волны имеют фиолетовые лучи, наибольшую — красные лучи. Но обычный свет содержит одновременно лучи с разными длинами волн, поэтому, говоря о спектральном составе света, который является его важнейшей характеристикой, мы посмотрим, как распределена полная энергия всего излучения по отдельным длинам волн. Цветовой тон сложного излучения определяется длиной волны, которая преобладает в данном спектре.

Из всего многообразия электромагнитных излучений остановимся на оптическом участке спектра.

При исследовании спектра разложенного белого света встал вопрос: что находится за краями спектра? При помещении термометра в различные участки равноэнергетического спектра было обнаружено, что наиболее высокая температура у красного участка и наименьшая у фиолетового. При перемещении термометра за границу красного участка (в темноту) температура поднялась еще выше, следовательно, за видимым красным краем спектра были какие-то неизвестные лучи, названные впоследствии инфра-

---

\* См. цветную вклейку.

красными, или тепловыми. Неизвестные лучи оказались и за фиолетовой полосой спектра, обнаружить их удалось с помощью хлористого серебра. Было замечено, что сильнее всего на хлористое серебро действуют фиолетовые лучи. Когда это вещество поместили в темноту рядом с фиолетовой полоской спектра, оказалось, что оно чернеет еще сильнее, чем при освещении фиолетовым светом. Это говорило только о том, что за границей фиолетового спектра имеются невидимые лучи, сильно действующие на хлористое серебро. Эти лучи получили название ультрафиолетовых. Для выделения их из спектра обычно служат черные увиолевые стекла, которые обладают способностью поглощать видимое излучение и пропускать ультрафиолетовое.

Для получения изображения с использованием светочувствительных материалов, не содержащих солей серебра (цианотипия, диазотипия, эмульсии на солях хрома), применяют такие источники ультрафиолетового излучения, как ртутно-кварцевые лампы.

А что же кроется по другую сторону границы видимого спектра? Как уже говорилось выше, при перемещении термометра за границу красного участка солнечного спектра было обнаружено повышение температуры. Этот опыт проводился в 1800 г. английским ученым В. Гершелем. Открытое им невидимое излучение получило название инфракрасного, так как оно было расположено за красным участком спектра. Дальнейшие исследования показали, что инфракрасное (и. к.) излучение подчиняется тем же законам, что и видимые лучи. Нижняя граница этого излучения находится на границе с видимым излучением и имеет длину волны 760 нм, а верхняя граница примыкает к ультракоротковолновой границе радиоизлучений. Для удобства весь диапазон и. к. излучения разделен на три поддиапазона:

0,76—1,5 мкм — коротковолновый,

1,5—15 мкм — средневолновый,

15 мкм — 1 мм — длинноволновый.

Такое подразделение определяется областями использования этих излучений и приборами, применяемыми для их обнаружения. Области использования и. к. излучения весьма обширны, и можно с уверенностью сказать, что нет ни одного направления в научных исследованиях и инженерном поиске, где современный уровень развития техники мог бы быть достигнут без использования и. к. излучений. Их также используют при расшифровывании строения молекулы нового вещества и в обеспечении дальних космических рейсов. Диапазон мощностей, охватываемый инфракрасными приборами, огромен: современный приемник лучистой энергии реагирует на потоки мощностью в десяти миллиардную долю ватта, а инфракрасный лазер генерирует поток в несколько миллиардов ватт. Информация, которую нам приносит и. к. излучение, помогает узнать окружающий мир, раскрывает неожиданное в обычных явлениях.



Одной из отраслей, где используется энергия и. к. излучения, является фотография на инфракрасных материалах, которые чувствительны к и. к. области спектра с длиной волны до 1050 нм.

По характеру используемой аппаратуры и. к. фотографирование может осуществляться прямым и косвенным способами. Фотосъемка невидимого изображения непосредственно на фотоматериалы — прямой способ, применяется там, где требуется получить отчетливое и подробное изображение (картография, аэрофотосъемка, судебная экспертиза и т. д.). Предварительное преобразование невидимого изображения в видимое с последующей передачей на обычный фотонегатив — косвенный способ, применяется в тех случаях, когда исследуемый объект излучает длину волны свыше 1050—1200 нм и фотоматериалы и аппаратура не в состоянии передать его изображение прямым способом.

## § 2. СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ

### СВЕТОВОЙ ПОТОК

Величина лучистого потока, оцениваемая по его действию на нормальный человеческий глаз, называется световым потоком, который измеряется в люменах (лм). 1 лм равен световому потоку, испускаемому точечным источником света силой в 1 кд (кандела) \* внутри телесного угла, равного одному 1 ср (стерадиану):

$$1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot 1 \text{ ср.}$$

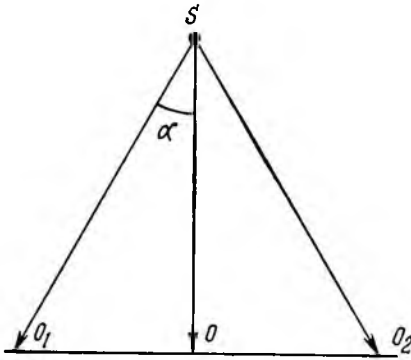
#### *Световой поток некоторых источников света*

Наименование источника	Ориентировочная величина светового потока, лм
Стеариновая свеча . . . . .	10—20
Электрическая лампа накаливания осветительная 100 Вт 127 В . . . . .	1275
Электрическая лампа накаливания осветительная 1000 Вт 127 В . . . . .	19 000
Электрическая лампа накаливания прожекторная 1000 Вт 110 В . . . . .	22 200
Люминесцентная лампа белого света (ЛБ) 15 Вт . . . . .	540
Люминесцентная лампа дневного света (ЛД) 15 Вт . . . . .	465
Окно площадью 1 м <sup>2</sup> , освещенное солнцем в летний полдень . . . . .	30 000—50 000
Окно площадью 1 м <sup>2</sup> в пасмурный день . . . . .	5 000—10 000

\* Кандела — единица силы света в Международной системе единиц (СИ). В переводе означает свеча.

Важной характеристикой всякого источника света является световая отдача, которая выражается отношением светового потока к потоку излучения, лм/Вт.

Рис. 2. Угол падения светового потока



В качестве примера можно указать, что светотдача ламп накаливания лежит в пределах 10—15 лм/Вт, а люминесцентных — 35—40 лм/Вт.

### ОСВЕЩЕННОСТЬ

Для определения интенсивности освещения необходимо знать величину светового потока не всей освещаемой поверхности, а определенной ее площади. Величина светового потока, падающего на единицу площади, называется освещенностью ( $E$ ). За единицу освещенности принят люкс (лк). Освещенность в 1 лк имеет поверхность, на 1 м<sup>2</sup> которой падает световой поток в 1 лм:

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2}.$$

Для определения освещенности пользуются формулой

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

где  $\Phi$  — величина светового потока, лк;  
 $S$  — освещаемая площадь, м<sup>2</sup>.

Но эта формула пригодна только для случая, когда световой поток падает перпендикулярно на освещаемую поверхность, т. е. в какой-то одной точке  $O$  (рис. 2). Для точек  $O_1$  и  $O_2$  освещенность будет иной, так как путь светового потока увеличился из-за угла падения светового луча. Следовательно, в точках  $O_1$  и  $O_2$  освещенность будет равна

$$E = \frac{\Phi}{S} \cos \alpha.$$

На практике по приведенной формуле измеряется средняя освещенность всей площади. Если световой поток перпендикулярен освещаемой поверхности, то  $\cos \alpha = 1$ .

#### Ориентировочная освещенность поверхности в различных условиях ее освещения

Условия освещения поверхности	Ориентировочная освещенность, лк
Земная поверхность ночью в полнолуние . . . . .	0,2
Мостовая уличной магистрали в центре города при электрическом фонарном освещении . . . . .	1—6

Земная поверхность в сумерки . . . . .	1—500
» » в летний день в тени . . . . .	6 000—15 000
» » » » » на солнце . . . . .	50 000—120 000
Земная поверхность в летний день при сплошной облачности . . . . .	5 000—25 000
Поверхность стола при настольной лампе 100 Вт (в зависимости от конструкции и расположения) . . . . .	80—200
Пол комнаты под лампой накаливания 100 Вт, висящей на высоте 3 м от пола . . . . .	20—30

### СВЕТИМОСТЬ

Светимость ( $M$ ) выражается отношением светового потока к площади излучающей его поверхности.

Для определения светимости пользуются формулой

$$M = \frac{\Phi}{S},$$

где  $S$  — площадь излучающей поверхности.

Единицей светимости является люмен на квадратный метр ( $\text{лм}/\text{м}^2$ ).

### СИЛА СВЕТА

В Международной системе единиц (СИ) за единицу силы света принята условная величина кандела, которая определяется силой света, испускаемой с площади  $1/600\,000 \text{ м}^2$  сечения полного излучателя, в перпендикулярном этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины  $2042 \text{ К}$  при давлении  $101\,325 \text{ Па}$ .

Обычно для источников резко направленного действия (пржектор и др.) указывается максимальная или осевая сила света; для источников с равномерным распределением светового потока в пространстве (лампа накаливания и другие источники, близкие к точечным) указывается величина силы света средняя по всем направлениям (среднесферическая). От силы света источника зависит освещенность, которая создается на освещаемой поверхности и рассчитывается по формуле

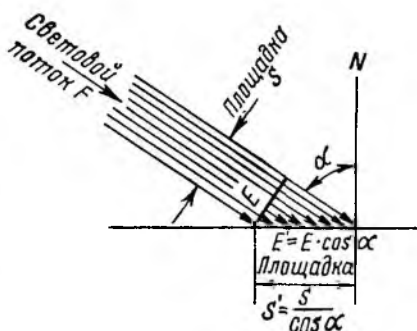


Рис. 3. Диаграмма, иллюстрирующая закон обратных квадратов при различных расстояниях от источника света

$E = \frac{I}{l^2}$ , где  $I$  — сила света в данном направлении,  $l$  — расстояние от источника до освещенной поверхности. Необходимо учесть, что при изменении расстояния изменяется и освещаемая площадь. При этом соблюдается закон обратных квадратов — световой поток распределяется в пространстве на площади пропорционально квадрату этого расстояния.

Если свет падает на освещаемую поверхность под углом  $\alpha$  (рис. 3), то его распределение происходит по большей площади. Следовательно,  $E = \frac{I}{l^2} \cos \alpha$ .

Ниже даны ориентировочные значения силы света некоторых источников.

*Сила света некоторых источников*

Наименование источника	Ориентировочная сила света, кд
Стеариновая свеча . . . . .	1
Керосиновая трехлинейная лампа . . . . .	5
Электрическая лампа накаливания осветительная 15 Вт 127 В . . . . .	12
Электрическая лампа накаливания осветительная 100 Вт 127 В . . . . .	120
Электрическая лампа осветительная 500 Вт 127 В . . . . .	870
Электрическая лампа для фотографии 500 Вт 127 В . . . . .	1350
Электрическая лампа зеркальная 500 Вт 127 В	5000
Электрическая лампа осветительная 1000 Вт 127 В . . . . .	1800
Электрическая лампа прожекторная 1000 Вт 110 В . . . . .	2200
Электрическая лампа прожекторная 10 000 Вт 110 В . . . . .	28 000
Люминесцентная лампа типа ЛД 15 Вт . . . . .	45
Зенитный дуговой прожектор диаметром 1,5 м	1,5 млрд. ( $1,5 \cdot 10^9$ )
Солнце . . . . .	$2 \cdot 10^{27}$

**ЯРКОСТЬ И ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА ПОВЕРХНОСТЯМИ**

Любая поверхность может быть видна только в том случае, если она посылает в глаз поток лучистой энергии, при этом поверхность может светиться сама или посылать световой поток, отраженный от нее. В любом случае яркость характеризуется свечением поверхности, которую дает в направлении наблюдателя каждая единица видимой ее площади.

Яркость освещенной поверхности зависит от интенсивности источника освещения и характера самой поверхности. Она всегда меньше яркости источника освещения, так как часть света поглощается освещаемой поверхностью, часть рассеивается ею по разным направлениям и только часть его отражается в том на-

Рис. 4. Различные виды отражения света:

а — зеркальное отражение; б — диффузное (рассеянное) отражение; в — полидиффузное (направленно-рассеянное) отражение; г — смешанное отражение

правлении, с которого поверхность рассматривается.

Различают поверхности с зеркальным, диффузным, или рассеянным, полидиффузным, или направленно-рассеянным, и смешанным отражением.

Зеркальные поверхности отражают свет источника только в одном направлении (рис. 4, а) и дают наименьшие потери света на поглощение и диффузное рассеивание в зависимости от материала, из которого они изготовлены. Яркость такой поверхности равна яркости поверхности источника света, умноженной на коэффициент зеркального отражения, который для различных материалов колеблется от 5 до 90%.

Поверхности с диффузным отражением рассеивают свет, падающий на них равномерно, во все стороны (рис. 4, б). В этом случае яркость равна освещенности поверхности, умноженной на коэффициент отражения  $\rho$ :

$$B = E\rho.$$

В табл. 1 приведены данные об отражательной способности диффузных поверхностей.

В левой части табл. 1 приведены светлоты поверхностей, наиболее часто встречающихся при фотосъемках в помещениях; в правой части — светлоты поверхностей, характерные для натуральных съемок.

Яркость светящихся поверхностей определяется отношением силы света в рассматриваемом направлении к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению. В Международной системе единиц (СИ) яркость выражается в  $\text{кд}/\text{м}^2$ .

Поверхности большинства объектов съемки близки по своим отражательным способностям к диффузным, т. е. при равномерном бестеневом освещении снимаемого сюжета яркости отдельных объектов в нем могут отличаться друг от друга в соответст-

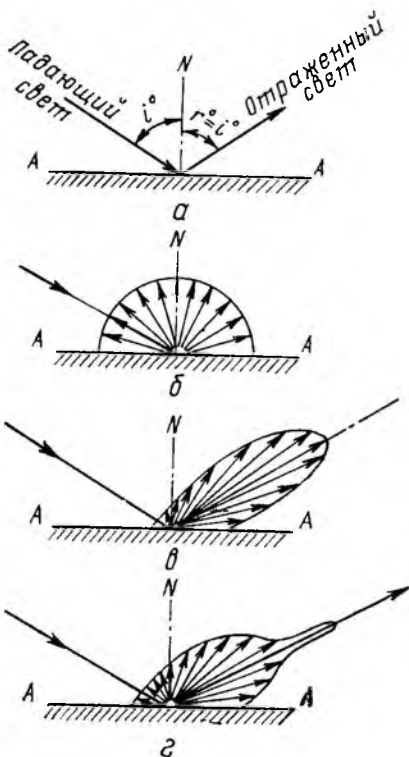


Таблица 1

## Величины отражательной способности диффузных поверхностей

Отражающая поверхность	Светлота, %	Отражающая поверхность	Светлота, %
Сажа	0,2—0,4	Пахота черноземная сырая	2—4
Бархат черный	0,5—4	Хвоя темная	4—7
Сукно, шерсть черные	2—5	Пахота черноземная сухая	5—10
Бумага черная	4—6	Асфальт, мостовая сырые	7—10
Материи темные (серые и цветные)	5—8	Листва древесная зеленая	8—13
Кожа человека темная	8—15	Песок мокрый	12—16
Краска средне-серая	16—20	Асфальт, мостовая сухие	12—20
Кожа человека смуглая	20—30	Тес сосновый старый	14
» человека белая	35—50	Почва полевая	15
Ткань полотняная белая	55—70	Песок сухой	15—20
Краска белая масляная	58—65	Окраска стен домов сред- няя	30
» алюминиевая	60—65	Известняк светлый	40
Алюминий оксидирован- ный	70—75	Тес сосновый свежий	45—50
Краска белая меловая	70—85	Снег лежалый	60—80
Бумага белая	75—85	» свежесвыпавший	99

вни с данными табл. 2 приблизительно в 40 раз. Соотношение между яркостями самого темного и самого светлого участков снимаемого объекта называется шириной сюжета. Ориентировочная

Таблица 2

## Ориентировочная ширина (интервал яркостей) различных сюжетов

№ п/п	Объект съемки	Интервал яркости
1	Открытый пейзаж (сельский или городской со светлыми зданиями) без неба и переднего плана	1 : 4—1 : 10
2	Открытый пейзаж с небом	1 : 20—1 : 60
3	Пейзаж с большими контрастами (светлый луг с темным затененным лесом на заднем плане, темные здания на фоне неба и т. п.)	1 : 100—1 : 200
4	Портрет со светлыми волосами на светлом фоне	1 : 10
5	Портрет с темными волосами на светлом фоне или в черно-белом костюме	1 : 100—1 : 200
6	Синее небо с белыми облаками	1 : 1000
7	Интерьер с ярко освещенным окном (при съемке против света)	1 : 1000—1 : 10 000
8	Темные пролеты арок, ворот, аллей и т. п. с ярко освещенным передним или задним планом	1 : 1000—1 : 30 000
9	Морские пейзажи с водой, небом и облаками	1 : 1000—1 : 100 000
10	Объекты с равномерным плоским освещением (репродукция картин и т. п.)	1 : 2—1 : 40

широта различных характерных сюжетов указана в табл. 2. Помимо поверхностей с зеркальным и диффузным отражением, существуют поверхности, обладающие направленно-рассеянным (рис. 4, в) и смешанным отражением (рис. 4, г).

### § 3. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЗРЕНИЯ

Вопросы образования и восприятия цвета делятся на три взаимосвязанных части: физика цвета, психофизиология цвета и психология цвета. Правильное и глубокое понимание материала двух последних частей будет невозможно без знания устройства глаза, принципов восприятия и переработки зрительной информации. Особенно важен этот материал для понимания механизмов психологии восприятия цвета. В последние годы уделяется значительное внимание глубокому изучению всех этих вопросов. Полученные данные используют при создании компьютеров, анализирующих оптическую информацию, в частности при конструировании роботов, которые смогут ориентироваться в окружающей их среде.

Хотя глаз как оптический прибор и обладает некоторыми недостатками, в целом он замечательно приспособлен к выполнению своих функций. Он обладает большой гибкостью, чувствительностью и надежностью.

Глаз представляет собой шарообразное тело, помещающееся в глазнице (рис. 5).

Наружная оболочка глазного яблока — твердое белковое образование — склера. Она состоит из белой почти непрозрачной ткани, обеспечивает сохранение формы глаза и защищает внутренние части его от внешних воздействий. В передней части глазного яблока склера переходит в более изогнутую и прозрачную роговую оболочку (роговицу). Наружная поверхность роговицы определяет преломляющую силу оптики глаза. За роговицей находится передняя камера, заполненная так называемой водянистой влагой, а за ней расположен хрусталик. Под склерой находится сосудистая оболочка, состоящая из сети кровеносных сосудов, питающих глаз. Спереди сосудистая оболочка утолщается и переходит в ресничное тело и радужную оболочку (радужку).

Радужка состоит из кровеносных сосудов, мышечных волокон и пигментных клеток. Пигментные

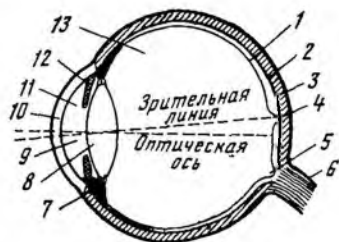


Рис. 5. Схематический разрез глаза человека:

1 — сетчатка; 2 — сосудистая оболочка; 3 — склера; 4 — центральная ямка в желтом пятне; 5 — слепое пятно; 6 — зрительный нерв; 7 — цилиарная мышца; 8 — хрусталик; 9 — зрачок; 10 — роговица; 11 — передняя камера; 12 — радужная оболочка; 13 — стекловидное тело

клетки определяют окраску глаз. Отверстие зрачка в середине радужной оболочки аналогично назначению диафрагмы в фотографическом объективе. При ярком свете зрачок сужается примерно до 2 мм в диаметре, при слабом расширяется до 8 мм. Интенсивность светового раздражения, воздействующего на глаз, изменяется в 16 раз. Полное сокращение зрачка происходит за 5 с, расширение — за 5 мин (расширение до  $\frac{2}{3}$  максимального диаметра происходит за первые 10 с). Размеры зрачка меняются также в зависимости от состояния нервной системы.

Основные функции зрачка: пропускать лишь тот свет, который падает на центральную часть хрусталика, где фокусировка наиболее точная; регулировать наибольшую возможную при данных условиях освещения глубину резко изображаемого пространства.

Хрусталик состоит из нескольких тонких слоев прозрачной ткани, расположенных подобно чешуям в луковице. Основная функция хрусталика — фокусирование изображения рассматриваемого объекта на светочувствительные клетки сетчатки, выстилающие дно глаза. Фокусировка достигается путем изменения выпуклости хрусталика при сокращении прикрепленных к нему мышц. Хрусталик обладает сферической и хроматической аберрацией.

Коррекция сферической аберрации осуществляется двумя путями. Роговица, которая является главной преломляющей поверхностью глаза, имеет по краям меньшую кривизну, чем в центре. Во внутренних слоях (в так называемом ядре) хрусталик тверже, что увеличивает его преломляющую силу для лучей, проходящих ближе к оптической оси.

Уменьшение хроматической аберрации происходит за счет желтоватой окраски микроволокон белкового вещества — глобулина, из которых состоит хрусталик. Как и светофильтр, хрусталик пропускает лучи, которые обычно рассматриваются в качестве видимой части спектра, но поглощает часть фиолетовых лучей в области длин волн около 400 нм. Именно поэтому глаз нечувствителен к ультрафиолетовому излучению. Люди, у которых хрусталик заменен бесцветной стеклянной линзой (из-за катаракты), прекрасно видят при ультрафиолетовом освещении, тогда как обычно люди в этом случае совершенно ничего не видят.

С возрастом из-за недостаточного снабжения хрусталика питательными веществами из окружающих жидкостей (в хрусталике нет кровеносных сосудов) он постепенно теряет эластичность, интенсивность желтой окраски увеличивается, что ведет к ухудшению фокусировки глаза, а также видения фиолетового и синего цветов. Замечено, что в картинах стареющих художников эти цвета встречаются реже.

Благодаря окраске центральной ямки и окружающей ее сетчатки в желтый цвет, а также максимуму чувствительности в области желто-зеленых лучей снижаются отрицательные последст-



вия хроматической аберрации (нерезкость изображения). Из области наиболее острого зрения исключается часть спектра, в которой хроматическая аберрация особенно велика.

Пространство глазного яблока заполнено студенистым, совершенно прозрачным веществом — стекловидным телом. Оно заключено в тончайшую и тоже совершенно прозрачную стекловидную оболочку, плотно прилегающую к сетчатке.

В сетчатке происходит превращение оптического изображения объекта в электрические сигналы — физиологические ответы. Сетчатка выстилает дно глаза. Она состоит из отдельных светочувствительных элементов — рецепторов, каждый из которых реагирует на световую энергию независимо от других. Светочувствительные элементы имеются двух типов — палочки и колбочки. У животных, кроме обезьян, имеются либо палочки, либо колбочки, у обезьян и человека имеются и палочки, и колбочки.

Палочки и колбочки отличаются функционально, они образуют как бы две отдельные зрительные системы. Каждой системе свойственны свои особые реакции. В палочках содержится светочувствительное вещество — родопсин. Палочки в 500 раз чувствительнее к свету, чем колбочки. Диаметр палочки около 0,002 мм, длина около 0,06 мм, диаметр колбочки около 0,007 мм, длина около 0,035 мм.

Колбочки чувствительны к излучениям определенных длин волн, которые считаются основными в спектре: сине-фиолетовые (синие), зеленые, красные. Соответственно есть колбочки синечувствительные, зеленочувствительные, красночувствительные. Пигменты, реагирующие на излучение, получили следующие названия: цианолаб (захватывающий синий), хлоролаб (захватывающий зеленый), эритролаб (захватывающий красный) от греческих слов, обозначающих название цвета, и слова «захватывать». Палочки чувствительны к лучам коротковолновой зоны спектра.

*Нарушения цветового зрения.* У некоторых людей в колбочках отсутствует хлоролаб или эритролаб и как следствие — цветовая слепота к зеленому или красному цвету. Цветовая слепота к зеленому получила название дейтеранопии, к красному — протанопии. Встречается также, хотя и чрезвычайно редко, третий вид частичной цветовой слепоты, так называемая слепота на фиолетовый цвет, или тританопия\*.

Протанопы путают светло-красные цвета с темно-зелеными, голубые и синие — с пурпурными и фиолетовыми. Протанопией страдал знаменитый химик Дальтон, впервые подробно описавший этот вид расстройства цветного зрения. Поэтому протанопию иногда называют еще дальтонизмом.

---

\* Краснослепых называют протанопами, или цветнослепыми первого рода; зеленослепых — дейтеранопами, или цветнослепыми второго рода; синеслепых — тританопами, или цветнослепыми третьего рода.

Характерная ошибка дейтеранопов — неразличение светло-зеленого от темно-красного и фиолетового от голубого; пурпурный цвет с голубым ими не смешивается, но смешивается с серым.

Тританопы во всем спектре воспринимают лишь оттенки красного и зеленого. Они смешивают желтовато-зеленый с синевато-зеленым, а также пурпурный с оранжево-красным.

Наиболее тяжелые случаи расстройства цветного зрения — полная цветовая слепота, или ахромазия. Страдающие ею лица не различают никаких цветовых тонов. Мир воспринимается ими подобно ахроматическому изображению на экране телевизионной трубки черно-белого телевизора.

Нарушения цветного зрения накладывают ряд ограничений на выполнение работ, связанных с различениями цветов (водители транспорта, художники-колористы, ботаники, медики, фотографы, лаборанты-копировщики цветной фотографии и др.).

Для определения цветовой слепоты выработано несколько способов. Наиболее старый из них — подбор мотков цветной шерсти. Испытуемому предлагается из кучки мотков цветной шерсти самых различных оттенков выбрать все подходящие по цветовому тону к мотку, данному ему в виде образца.

Существуют испытательные таблицы, на которых среди пятен одного цвета имеются пятна другого цвета, составляющие для нормально видящего какую-нибудь цифру, букву или фигуру. Цветнослепые не могут отличить цвета пятен цифр от цвета пятен фона, т. е. не видят цифр, букв или фигур. Существуют таблицы Штиллинга, Ишихара, Шаафа и др. В СССР пользуются Полихроматическими таблицами для исследования цветоощущения, составленными Е. Б. Рабкиным. Существуют и специальные приборы для исследования нормальности цветового зрения.

*Распределение палочек и колбочек.* У человека в глазу содержится приблизительно 6—7 млн. колбочек и 120—130 млн. палочек, всего — 126—137 млн. рецепторов. Это очень высокая плотность (для сравнения — изображение на телевизионном экране складывается всего из 250 тыс. независимых элементов). Плотность светочувствительных клеток наиболее высока в центральной части сетчатки и падает к периферии.

Палочки и колбочки распределены в сетчатке неравномерно: палочек больше на периферии, а колбочек — в центре. В самом центре сетчатки имеется маленький вдавленный участок, содержащий только колбочки; его называют центральной ямкой. Плотность колбочек в центральной ямке достигает 150 тыс. на 1 мм<sup>2</sup>. Диаметр центральной ямки около 0,4 мм. В ней находятся только красно- и зеленочувствительные колбочки. Ямка расположена так, что на нее падает середина изображения фиксируемого глазом объекта. Именно здесь разрешающая способность глаза (острота зрения) максимальна.

Фотохимическая реакция, происходящая в глазу, хорошо изучена. В темноте сетчатка содержит большое количество зритель-

ного пурпура (родопсина). На свету родопсин выпцвetaет, претерпевая ряд изменений, в результате которых образуется вещество, называемое ретиненом; при длительном пребывании на свету образуется конечный продукт этих превращений — витамин А.

Глаз способен эффективно определять разницу в яркости в диапазоне, где самый яркий свет в миллиард раз сильнее самого тусклого. Глаз автоматически подстраивается к яркости наблюдаемой сцены. Изменение чувствительности глаза применительно к яркости наблюдаемой сцены называется адаптацией. Механизм адаптации заключается в том, что содержание зрительных пигментов изменяется параллельно уровню освещенности. При постоянном освещении процесс обесцвечивания и регенерации зрительных пигментов сбалансирован. Количество родопсина тем ниже, чем сильнее обесцвечивающий свет. Уровень адаптации палочек зависит от содержания в них родопсина. Родопсин является пигментом, с помощью которого осуществляется сумеречное зрение.

Быстрое и бессознательное изменение чувствительности, которое затрудняет оценку абсолютных уровней интенсивности света, происходит в колбочках точно так же, как и в палочках, но колбочки производят еще оценку цвета, которая подвержена собственной адаптации. Глаз выдает информацию о яркости частей по отношению к средней яркости целого. Сила света, отраженного от черной бумаги при солнечном освещении, значительно больше, чем от белой бумаги, находящейся в тени, однако черная бумага все равно выглядит черной.

Поскольку в палочках имеется только один пигмент, то два луча света с разным составом длин волн покажутся одинаковыми, если их интенсивность подобрана таким образом, что они одинаково поглощаются родопсином. По этому признаку возможно подобрать интенсивность двух лучей света различного состава так, что они будут одинаково поглощаться одним из колбочковых пигментов, например красочувствительным. Однако два других пигмента прореагируют на эти лучи по-разному. Сходство подобранных цветов зависит от длины волны и силы света, падающего на три пигмента, и от их спектров поглощения. Но то, что человек видит, зависит от всего комплекса нервных взаимодействий, и не только между колбочками в сетчатке, но и между ощущением и преднастройкой в мозгу.

Распад зрительного пигмента вызывает нервное возбуждение, которое по нервным волокнам поступает в зрительные отделы коры головного мозга.

Волокна зрительных нервов выходят из глазного яблока в виде толстого жгута. На том месте отсутствуют колбочки и палочки, поэтому оно называется слепым пятном.

Обычно мы не замечаем вызываемых слепым пятном пробелов зрения, потому что изображение, падающее на слепое пятно

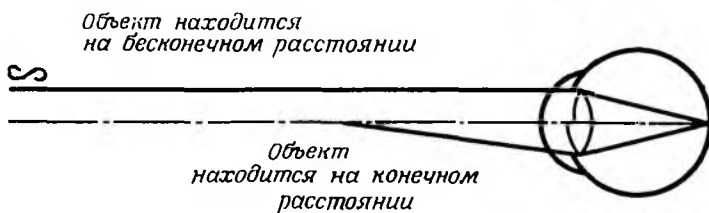


Рис. 6. Схема аккомодации глаза

в одном глазу, в другом падает за пределами слепого пятна; кроме того, эти пробелы невольно заполняются образами соседних частей поля зрения.

Количество нервных волокон, отходящих от колбочек и палочек в различных частях сетчатки, различно. От каждой из колбочек, расположенных в центральной ямке, отходит одно нервное волокно. Чем ближе к периферии глаза, тем большее число колбочек и палочек посылает в мозг сигнал по одному нервному волокну.

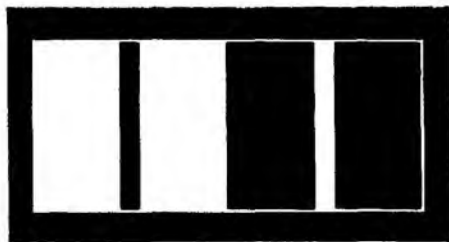
Поэтому палочки не могут обеспечить сколько-нибудь высокую остроту зрения, а периферическое зрение служит только целям ориентировки.

*Движение глаз.* Глаза все время находятся в движении, последовательно переходя с одного участка объекта на другой. Движение глаз складывается из ряда скачков (саккад), которые происходят обычно четыре-пять раз в секунду. В некоторых случаях саккадическое движение носит автоматический характер. Например, при появлении движущегося предмета на периферии поля зрения часто возникает произвольное саккадическое движение, направленное в сторону предмета. В основном характер движения глаз отражает систематический отбор внешней информации, основанный на анализе поступающих данных.

*Аккомодация.* Способность глаза приспособливаться к четкому видению различно удаленных предметов называется аккомодацией глаза. Это достигается за счет изменения радиусов кривизны передней поверхности хрусталика, так как соответственно изменяется его коэффициент преломления (рис. 6). Как было сказано ранее, с возрастом хрусталик теряет свою эластичность, ближайшая точка ясного видения отодвигается от глаза и человек не может рассматривать предметы на близком расстоянии. Это явление называется старческой дальнозоркостью.

*Острота зрения.* Способность глаза воспринимать линии или точки раздельно друг от друга называется остротой зрения. Раздельное изображение получается тогда, когда между двумя возбужденными светом колбочками находится одна промежуточная, не раздраженная светом.

Рис. 7. Явление световой иррадиации



Острота зрения есть функция различительной чувствительности глаза и иррадиации (нечеткости границ изображения на сетчатке). Угол зрения одной колбочки равен  $45''$ .

Угловой размер видимых черных точек составляет  $33,6''$ .

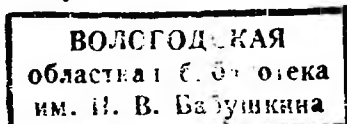
Наиболее простой формой разрешающей способности является случай различения отдельных линий или точек, расположенных на некотором фоне, отличающемся по яркости от этих линий или точек. Яркая линия или точка будет восприниматься тогда, когда она возбуждает хотя бы один световоспринимающий элемент. Темная линия на ярком фоне различима даже тогда, когда ширина ее изображения на сетчатке составляет  $0,0078$  от диаметра колбочки, т. е. угол зрения этой видимой линии составит  $0,35''$ . Это явление бывает хорошо заметно на фотоотпечатках, скопированных с поцарапанных негативов. Причина этого явления заключается в том, что линия охватывается воздействием целый ряд колбочек. Чтобы уменьшить дефект, ретушер обычно «разбивает» изображение линии посредством светлых точек.

Иррадиация характеризуется тем, что свет, попадающий в глаз, никогда не дает резко очерченной границы изображения на сетчатке, на которой всегда имеется постепенный переход от света к темноте. С увеличением освещенности величина иррадиации обычно возрастает. Слабой освещенности соответствует отрицательная иррадиация, при которой кажутся расширенными границы более темных объектов. Чем менее различимы по яркости граничащие друг с другом объекты, тем легче наступает эффект отрицательной иррадиации.

С усилением освещенности иррадиация меняет знак, превращаясь в положительную величину. При этом границы светлого объекта кажутся расширенными (рис. 7). Белая полоска на черном фоне кажется более широкой, чем черная полоска на белом фоне. Положительную иррадиацию необходимо учитывать при портретировании и в других случаях съемок. Портретируемый в светлой одежде кажется полнее, чем в темной. Причинами иррадиации считаются сферическая, хроматическая аберрации, дифракция и не всегда совершенная фокусировка глазом рассматриваемого предмета.

Способность глаза различать две точки с минимальным углом между ними в  $1'$  считается нормой. Острота зрения такого глаза принимается за  $1,0$ . Для исследования остроты зрения пользуются таблицами с кольцами и буквами.

881210



*Поле зрения.* Поле зрения определяется пространством, наблюдаемым неподвижным глазом. Границы поля зрения глаза около  $125^\circ$  по вертикали и  $150^\circ$  по горизонтали. Поле зрения обоих глаз около  $180^\circ$ . Движение глаз позволяет увеличить угловую величину просматриваемого пространства.

Поле зрения одного глаза условно можно разделить на три зоны:

1) зона наиболее ясного зрения — центральная, с полем зрения меньше  $2^\circ$ ;

2) зона ясного зрения, в которой различаются предметы без мелких деталей, с полем зрения около  $30^\circ$  по горизонтали и около  $22^\circ$  по вертикали;

3) зона периферического зрения, которая важна для ориентации, но детали предметов ясно не различаются.

Зона ясного зрения, видимо, является основной причиной часто наблюдаемого явления: наиболее привычную, естественную перспективу передают на фотографиях объективы, угол изображения которых близок к  $30^\circ$ .

*Бинокулярное зрение.* При рассматривании объекта оптические оси глаз бывают направлены на объект. Изображения объекта от обоих глаз в зрительных отделах коры головного мозга сливаются в одно зрительное восприятие. При рассматривании удаленного предмета оптические оси обоих глаз параллельны, и глаза работают без аккомодации. Для рассматривания близкого предмета оси обоих глаз должны пересекаться на рассматриваемом объекте. Схождение оптических осей глаз называется конвергенцией, расхождение — дивергенцией. Величина угла конвергенции зависит от расстояния до объекта и расстояния между точками, вокруг которых вращаются глаза. Глазной базис (расстояние между осями глаз) для различных людей колеблется в пределах 52—72 мм. Максимальный угол конвергенции равен  $32^\circ$ .

Благодаря бинокулярному зрению происходит оценка расстояния, удаленности. Если при рассматривании звезды закрыть один глаз, то (при неизменном положении головы) видимое положение звезд на небе не изменится. При параллельно направленных зрительных линиях обоих глаз изображения удаленных предметов, падающих на сетчатку, видятся в одних и тех же местах пространства независимо от того, падают ли эти изображения на сетчатку правого глаза или на сетчатку левого, или же на обе сетчатки сразу.

Некоторым местам одной сетчатки соответствуют определенные места другой сетчатки в том смысле, что раздражающие их объекты видятся в одних и тех же точках пространства. Такие места сетчаток носят название соответствующих, или корреспондирующих точек. Возбуждение соответствующих точек дает ощущение одного объекта в поле зрения. Соответствующими точками прежде всего будут центральные ямки, а также все те места сет-

чаток, которые лежат в одном и том же направлении и на одном и том же расстоянии от центральной ямки сетчатки.

Если изображение предмета падает в обоих глазах на различно от центральной ямки удаленные, несоответствующие, или, как их еще иначе называют, диспаратные точки сетчатки, то возникают двойственные изображения. Если же несоответствие раздраженных мест сетчатки невелико и если в обоих глазах раздражение попадает лишь на левые или лишь на правые половины сетчатки, то вместо двоения возникает впечатление большей или меньшей удаленности данного объекта по сравнению с фиксируемым. Таким образом, некоторое несоответствие изображений на сетчатке дает возможность судить об относительной удаленности предметов. На этом принципе основано устройство стереоскопа.

Наряду с умеренной диспаратностью изображений на сетчатке восприятие большей или меньшей удаленности предмета при бинокулярном зрении помогают конвергенция и аккомодация. Сведение зрительных осей есть признак близости предмета. Конвергенция наблюдается еще для предметов, находящихся на расстоянии 450 м от наблюдателя. Практически она оказывается незначительной при гораздо более близком расстоянии. Аккомодационные усилия помогают оценить расположение в глубину до 2—3 м, поэтому основным фактором в оценке глубины является несоответствие изображений на сетчатке. Конвергенция и аккомодация играют вспомогательную роль. Наибольшим расстоянием, на котором можно видеть объемность пространства, является 1300—2600 м.

*Монокулярное восприятие глубины.* Расстояние можно воспринимать, глядя и одним глазом (монокулярно). Подобное восприятие, однако, гораздо менее совершенно, чем бинокулярная оценка расстояния.

Монокулярное восприятие третьего измерения осуществляется благодаря вторичным, вспомогательным признакам удаленности; видимой величине предмета, линейной перспективе, воздушной перспективе, загораживанию одних предметов другими, различному характеру кажущегося движения предметов при движении головы. На близких расстояниях оказывает помощь и аккомодация.

*Оценка абсолютной удаленности.* Чем более заполнено промежуточное пространство между исследователем и фиксируемой им точкой, тем более далекой она видится. Помогают судить об удаленности объекта примерные угловые размеры обычных предметов при различной их удаленности (шпалы, телеграфные столбы), линейная перспектива, а при достаточно больших расстояниях — и воздушная перспектива. Удаленность вблизи и вдаль оценивается неодинаково. При делении какого-либо расстояния пополам ближний отрезок оказывается большим.

*Световая адаптация.* Адаптацией называется способность глаза приспособливаться к различным уровням освещенности.

Понижение чувствительности глаза при световом раздражении называется световой адаптацией. При ярком освещении зрительный пурпур, покрывающий палочки, полностью разлагается и палочки «выключаются» из зрительного акта. В процессе воздействия света на глаз его чувствительность почти мгновенно падает, глаз принимает новый уровень адаптации. Так, например, если в сумеречное время включить свет в помещении, то это вызывает потемнение видимого в окне пейзажа.

Скорость восстановления чувствительности сильно меняется с изменением времени экспозиции. Если время экспозиции мало, то чувствительность глаза восстанавливается почти мгновенно. По мере увеличения времени экспозиции процесс восстановления все более и более замедляется. Если экспозиция длится 1 мин, то процесс восстановления чувствительности длится несколько минут. В связи с этим можно понять, почему кратковременное воздействие света, отраженного от экрана фотоувеличителя за время экспонирования фотобумаги, почти не отражается на чувствительности глаза, а выход в коридор, даже сравнительно слабо освещенный белым светом, требует длительного восстановления чувствительности глаза в фотолаборатории, освещенной неактивным светом.

Понижение чувствительности происходит очень быстро в первые 3—5 мин. Чувствительность продолжает спадать и в дальнейшем ходе световой адаптации, но значительно медленнее. Окончательный уровень пониженной чувствительности достигается тем скорее, чем ярче свет, к которому адаптируется глаз.

*Темновая адаптация.* Повышение чувствительности глаза в условиях пониженной освещенности называется темновой адаптацией. Примером такой адаптации может служить случай, когда лаборант входит в тускло освещенную лабораторию из помещения, освещенного солнечным светом. По мере пребывания в лаборатории становятся видимыми предметы сначала ближе, а затем и далее расположенные от лабораторного фонаря.

Чувствительность глаза благодаря темновой адаптации может сильно увеличиваться.

Диапазон роста чувствительности зависит от начального ее уровня, определяемого яркостью того света, к которому глаз был адаптирован до попадания в темноту. Особенно быстро увеличение световой чувствительности идет в первые полчаса темновой адаптации (через 10 мин примерно в 2000 раз, через 20 мин — в 35 000 раз, через 30 мин — в 160 000 раз). После 60—80-минутного пребывания в темноте световая чувствительность глаза практически устанавливается на постоянном уровне, возрастая примерно в 220 000 раз.

Если человеку необходимо, чтобы его зрение сохраняло адаптацию к темноте, но в то же время он вынужден периодически работать в хорошо освещенном помещении, то для сохранения уровня адаптации «палочкового» зрения следует носить в свет-



лом помещении темно-красные очки. Так как палочки чувствительны только к лучам коротковолновой зоны спектра, то при интенсивном красном свете будут работать только колбочки. Красным светом следует освещать коридор фотолaborатории, если лаборантам приходится переходить из помещения в помещение, имеющие пониженную освещенность.

*Время суммации.* Процесс зрения протекает во времени. Это время складывается из времени, необходимого для развития реакции на оптическое изображение, на развитие химических реакций, с помощью которых световое изображение переводится в нейроэлектрический ответ, на угасание реакции. Изображение на сетчатке глаза исчезает постепенно, в течение нескольких десятых долей секунд. Если быстро крутить фонарик или уголек в темноте, то возникает световой круг. Зрительный образ сохраняется примерно в течение 150 мс. Эта величина очень близка к продолжительности электрической активности, возбуждаемой в сетчатке при кратковременных вспышках света. Время, прошедшее с момента возникновения кратковременного светового сигнала до момента угасания в глазу реакции на сигнал, называется временем суммации.

*Критическая частота мельканий.* При правильном выборе интервалов между мельканиями можно создать у наблюдателя впечатление непрерывного свечения. Если вторая вспышка следует достаточно быстро за первой, то реакция на эту вспышку разовьется раньше, чем угаснет реакция от предыдущей. При таких последовательных вспышках в зрительной системе возникает непрерывная реакция, которая воспринимается как непрерывный свет. Частоту вспышек, при которой ряд последовательных вспышек воспринимается как непрерывно горящий свет, называют критической частотой мельканий.

Слабые вспышки сливаются при более низкой частоте мельканий по сравнению с сильными. Закон Тальбота гласит, что свет, продолжительность вспышек которого равна продолжительности перерывов между вспышками (при частоте вспышек выше критической), воспринимается как равный по яркости постоянному свету половинной интенсивности. Зрительная система усредняет интенсивность по некоторому временному интервалу, и соответственно усредняется воспринимаемая яркость. Процесс усреднения обеспечивает плавное слияние последовательных изображений в непрерывный поток зрительного восприятия. В результате этого процесса последовательность отдельных кадров на киноэкране или на экране телевизора создает иллюзию непрерывного движения. Для повышения качества проекции в конструкциях проекторов предусмотрены специальные меры: на время передвижения пленки и замены одного кадрика другим световой поток перекрывается лопастью obtюратора. Показ кинофильмов производится с частотой 24 кадра в секунду (обычный вариант) или 36 кадров в секунду (широкоэкранный вариант). За время

демонстрации кадра фильма лопасть обтюлятора перекрывает световой поток. Таким образом, критическая частота мельканий доводится до 48 или 72 в секунду.

Изображение на телевизионном экране строится примерно из 625 линий (строк), на каждой из которых имеется около 500 точек. Полное изображение подается на экран 25 раз в секунду. Чтобы избежать мельканий, подают сначала половину изображения: луч проходит линии через одну. Через  $\frac{1}{50}$  с электронный луч возвращается к началу и снова проходит линии через одну, заполняя оставшиеся промежутки.

*Последовательные образы.* Если длительно смотреть неподвижным взглядом на заставку или титры на кино- или телевизионном экране, то сразу же после того, как изображение будет заменено на светлый фон без изображения, на короткое время у зрителя четко возникает образ изображения, не только «в негативном» виде. Подобное возникновение образов, получивших название последовательных, происходит и при фиксировании взглядом цветного узора. После перевода взгляда на белую поверхность несколько секунд виден последовательный образ цветного узора, причем цвет почти точно соответствует дополнительному к цвету изображения, на которое смотрели сначала.

Последовательные образы подчиняются правилу взаимности: если синий цвет дает последовательный образ желтого цвета, то желтый дает последовательное изображение синего цвета.

Появление последовательных образов объясняется тем, что при длительном воздействии зрительной сцены происходит утомление некоторых рецепторов, выражающееся в разрушении в них в большей или меньшей мере зрительного пигмента. После перевода взгляда на другую, например белую поверхность, возникает неодинаковая ответная реакция. При одинаковой силе раздражения та часть колбочек, в которой зрительный пигмент сохранился в значительной мере, будет подавать в зрительные отделы мозга более сильные сигналы, что и вызовет возникновение образа почти дополнительного цвета. Предполагается, что небольшая ошибка предсказания объясняется слабой окраской сред глаза, вызывающих некоторое избирательное поглощение части спектра.

*Цветовая чувствительность колбочек.* Три типа колбочек, содержащих различные пигменты, по-разному поглощают свет, обладая избирательностью по отношению к определенным длинам волн. Эритролаб лучше всего поглощает свет с длиной волны от 555 до 570 нм, хлоролаб — от 525 до 535 нм, цианолаб — от 445 до 450 нм. Трем пигментам соответствуют три типа колбочек, называемые красно-, зелено- и синечувствительными приемниками. Относительные спектральные чувствительности этих приемников, изображенные на рис. 8, называются кривыми основных возбуждений. Красный, зеленый и синий цвета называют основными физиологическими цветами. При одновременном

Рис. 8. Кривые спектральной чувствительности красного (К), зеленого (З) и синего (С) приемников глаза — кривые основных возбуждений

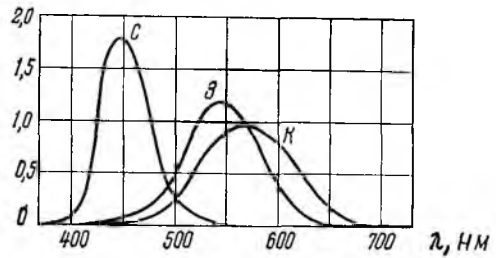
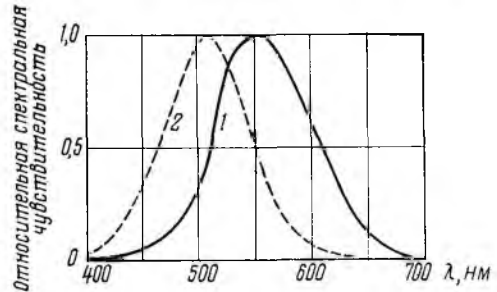


Рис. 9. Кривые спектральной чувствительности глаза:

1 — дневное зрение; 2 — ночное зрение



действию излучения на два или три приемника возникают ощущения всевозможных других цветов.

**Дневное и ночное зрение.** При увеличении яркости больше  $0,1 \text{ кд/1 м}^2$  распад родопсина идет быстрее, чем его восстановление. Поэтому при яркости в несколько  $\text{кд/1 м}^2$  палочки «выключаются» и в зрении участвуют только или почти исключительно колбочки. Такое зрение называется дневным. При низких уровнях яркости (несколько сотых  $\text{кд/1 м}^2$ ) работают только палочки. Зрение с участием только палочек называется ночным. С увеличением уровня яркости, например ночью в полнолуние, когда освещенность близка  $0,25 \text{ лк}$ , а яркость белой поверхности  $0,7 \text{ кд/м}^2$ , в зрительном акте принимают участие и палочки, и колбочки. Переход от колбочкового зрения к палочковому удобно наблюдать в сумерки по мере снижения освещенности. Смешанное зрение называют сумеречным.

Суммарные относительные чувствительности (видности) трех видов колбочек к однородным излучениям определяют спектральную чувствительность глаза при дневном зрении. Относительные чувствительности палочек определяют чувствительность при ночном зрении. На рис. 9 показаны спектральные чувствительности глаза при ночном и дневном зрении. Палочки в целом более чувствительны к коротковолновым излучениям, чем колбочки. При дневном освещении максимум кривой приходится на  $556 \text{ нм}$ , при ночном свете — на  $510 \text{ нм}$ . Многочисленные наблюдения и измерения показали, что с уменьшением яркости поля зрения кривая спектральной чувствительности, сохраняя примерно свою форму, постепенно смещается в сторону фиолетового конца спектра. Зрительно это выражается в том, что голубые, синие и фиолетовые цвета выигрывают в яркости по сравнению с красными, оранжевыми, желтыми. Это явление в честь

открывшего его чешского ученого Яна Пуркине носит название эффекта Пуркине.

*Цветовая адаптация.* При расположении рядом цветов различного цветового тона возникает эффект, называемый одновременным цветовым контрастом. При одновременном цветовом контрасте глаз имеет тенденцию вычитать один цвет из другого и усиливать различие между ними. Таким образом, оранжевый и желтый цвета, помещенные рядом, выглядят как красно-оранжевый и зеленовато-желтый. Если поместить рядом два цвета одного и того же цветового тона, но разной насыщенности, то цвет с меньшей насыщенностью будет казаться дополнительным. Если цвета имеют в среднем высокую насыщенность, то действие контраста сказывается лишь в подчеркивании различия в насыщенности.

Одновременный цветовой контраст хорошо наблюдается в тенях на большой белой поверхности, освещаемой одним или двумя источниками цветного света. В этом случае каждая тень освещена только одним из источников света, а фон — обоими. Такие тени всегда кажутся приблизительно дополнительными независимо от цвета источников света. Наилучшие результаты достигаются тогда, когда источники создают примерно одинаковую освещенность на экране и когда они заметно отличаются по цвету.

С явлениями цветового контраста часто приходится встречаться в живописи и цветной фотографии. Например, при портретировании фотограф должен решить, какой — ахроматический или хроматический — фон следует выбрать; если хроматический, то какого цветового тона и какой насыщенности. Понятно, что эти вопросы приходится решать в зависимости от других определяющих факторов: цвета лица и волос, цветовых сочетаний в одежде. К сожалению, случается, что некоторые портретисты почти однозначно решают вопрос о цветности фона. Желая выделить цвет лица, они портретируют на синем или зеленом фоне. В подобном случае хотя и кажется, что глубина и насыщенность телесных цветов возрастают, однако, как правило, между портретируемым и фоном возникает значительный цветовой контраст, который вносит дисгармонию в сочетание цветов, зачастую превращая портрет в пеструю картинку. В лучших образцах живописных и фотографических портретов присутствует гармония цветовых тонов, явления одновременного цветового контраста учтены и помогают лучше донести замысел автора до зрителя. В частности, художники при портретировании часто пользуются ахроматическими тонами, так как в подобном случае меньше сказывается явление одновременного цветового контраста и появляется возможность больше сосредоточить внимание зрителя на главном — лице портретируемого.

*Монохроматические и сложные излучения и восприятие цвета.* Белый дневной свет, как известно, состоит из смеси всех

спектральных цветов. Трехцветная теория зрения объясняет факты возникновения ощущений ахроматических и хроматических цветов. Ахроматический цвет — белый или серый — возникает в случаях, когда в красно-, зелено- и синечувствительных колбочках одинакова сила раздражения. Ощущения хроматического цвета возникают в случаях, когда один или два вида колбочек раздражены сильнее, чем остальные. Самые большие различия могут вызвать при рассматривании спектра отдельные участки, называемые монохроматическими. Как известно, монохроматическими называются излучения, длина волны которых укладывается в пределах 10 нм. Таким образом, если из спектра белого света выделить, например, посредством щели участок, соответствующий красному цвету, то возбуждение красочувствительных колбочек будет максимальным при минимальном возбуждении зелено- и синечувствительных колбочек, а в мозгу возникнет ощущение чистого насыщенного цвета. Однако такие насыщенные цвета встречаются только в виде спектральных и обычно в природе не наблюдаются. Зато имеется ряд ахроматических цветов, пурпурных и различных малонасыщенных, отсутствующих в спектре. Ощущения этих цветов вызываются сложным светом, представляющим смесь различных монохроматических лучей. Имеющиеся в смеси монохроматические спектральные лучи раздражают красные, зеленые и синие колбочки. Все эти раздражения в каждом виде рецепторов (палочек или колбочек) суммируются, и величина конечного раздражения будет равна сумме раздражений рецептора всеми спектральными лучами, входящими в состав сложного цвета. Например, сумма раздражений от дневного света воспринимается в виде белого света.

В свете электрической лампы меньше синих лучей, поэтому ее свет по сравнению с дневным кажется желтоватым, так как преобладает раздражение красно- и зеленочувствительных колбочек.

Ощущение белого цвета можно достичь, смешивая три световых потока по зонам, соответствующим трети спектра (400—490 нм — сине-фиолетовый цвет, 490—595 нм — зеленый цвет, 595—700 нм — красный цвет). Цвета таких основных потоков называют основными, или первичными, цветами.

В некоторых случаях под действием монохроматического излучения происходит возбуждение двух видов рецепторов. Так, спектральный желтый (580 нм) возбуждает в одинаковой степени красно- и зеленочувствительные колбочки и совсем не возбуждает синечувствительные. Спектральный синий (470 нм) возбуждает главным образом синечувствительные колбочки и лишь незначительно, но в равной степени, возбуждает красно- и зеленочувствительные колбочки. Пользуясь кривыми спектральной чувствительности красного, зеленого и синего приемников глаза (см. рис. 8), можно подобрать соотношение интенсивностей обоих лучей, при котором раздражения сравниваются и возникнет

ощущение белого света. Это произойдет, если взять примерно 45% сине-фиолетового и 55% желтого света.

Цвета двух излучений, образующих при сложении белый цвет, называют дополнительными. Такими излучениями будут, например, взятые в надлежащих пропорциях попарно красный с голубым, фиолетовый с желто-зеленым и др. Дополнительными цветами могут быть не только спектральные, но и цвета сложных излучений, составленные из лучей различных длин волн. Можно вместо спектрального желтого (580 нм) взять смесь из красных и зеленых лучей и, прибавив спектральный синий, также получить белый цвет. Пары дополнительных спектральных цветов определялись многими наблюдателями и приводятся в таблицах.

Таким образом, одному и тому же спектральному составу света всегда строго соответствует один и тот же цвет, но одному и тому же цвету может соответствовать множество различных спектральных составов. Причина в том, что одинаковое возбуждение колбочек глаза может возникнуть от различных комбинаций лучей в спектре.

Для излучений с длинами волн от 495 до 550 нм дополнительных излучений в спектре нет. Это вызвано тем, что в спектре отсутствуют пурпурные цвета, представляющие переход от красных к фиолетовым. Пурпурные цвета являются дополнительными к цветам от зелено-голубого до желто-зеленого.

#### § 4. ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА И ЕГО СВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Хотя все реальные источники света имеют конечные размеры, при расчетах пользуются понятием «точечный источник света». Под этим понимают такой источник, у которого наибольший размер  $a$  (рис. 10), видимый из данной точки пространства  $A$ , отнесенный к расстоянию, удовлетворяет неравенству  $L:a \geq 5$ . Из неравенства видно, что когда говорят о силе света источника и рассматривают создаваемое им освещение, то всегда предполагают, что расстояние между источником и освещаемым предметом больше размеров самого источника. Необходимость этого условия вытекает из того, что сила света источника всегда связана с определенным направлением и, следовательно, лучи, падающие из разных точек источника на элемент освещаемой поверхности, должны лежать внутри малого телесного угла. В равной мере и расстояние от источника до освещаемой поверхности приобретает определенность только тогда, когда размер источника мал по сравнению с расстоянием, на котором определяется создаваемое им освещение.

Точечный источник на чертежах и схемах изображается в виде точки, расположенной в вершине пространственного угла. Про-

стейшим телесным углом будет угол, образованный конической поверхностью (рис. 11).

За единицу силы излучения точечного источника принята сила такого точечного источника, у которого в пределах угла 1 стер равномерно распространяется лучистый поток в 1 Вт. Сила света — величина, имеющая направление. За направление силы света излучателя принимают ось телесного угла  $OO'$ , в пределах которого распространяется и равномерно распределяется лучистый поток.

Если из точки, в которой расположен точечный источник, в различных направлениях пространства откладывают значение силы излучения этого источника и через концы векторов проводят поверхность, то получим фотометрическое тело излучателя, которое полностью характеризует распределение лучистого потока данного источника в окружающем его пространстве.

Основным правилом, которым определяется действие точечного источника света, является закон обратных квадратов — количество света, падающего на данную поверхность, зависит от расстояния между источником света и освещаемой поверхностью, т. е. освещенность участка пропорциональна квадрату расстояния от источника света. Следовательно, если расстояние от источника света до поверхности изменилось в 2 раза, то освещенность изменилась в 4 раза.

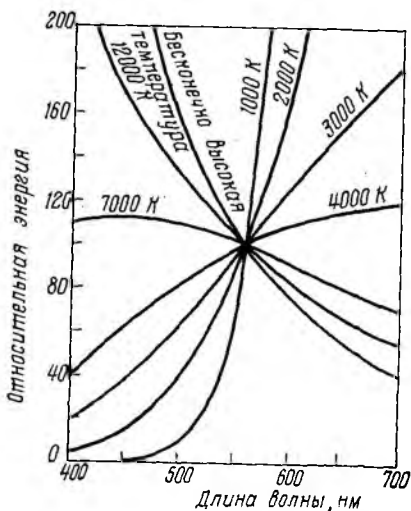
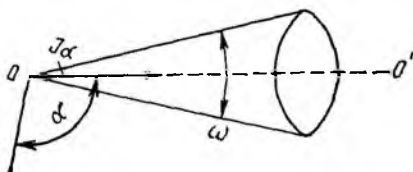
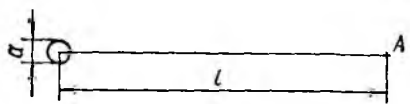
## § 5. ЦВЕТОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Источники света, как правило, дают излучение сложного спектрального состава,

Рис. 10. Точечный источник света

Рис. 11. Телесный угол, образованный конической поверхностью

Рис. 12. Относительное спектральное распределение энергии излучения абсолютно черного тела при различных температурах



который принято характеризовать величиной цветовой температуры. Цветовая температура выражается температурой, до которой необходимо нагреть абсолютно черное тело в градусах абсолютной шкалы, когда видимое излучение его будет иметь такой же спектральный состав, что и исследуемый источник света. Цветовая температура по абсолютной шкале выражается в градусах Кельвина (К). Нуль на этой шкале соответствует минус  $273^{\circ}\text{C}$ .

Если тело подчиняется законам излучения абсолютно черного тела, то его температура может служить характеристикой цветности, так как при нагревании будет давать такое же распределение энергии по спектру, как и абсолютно черное тело. При этом необходимо учесть, что очень немногие материалы строго подчиняются этим законам и что применение теоретических рассуждений к реальным источникам является лишь удобным приближением. Рассмотрим кривые относительного распределения энергии абсолютно черного тела, рассчитанные для широкого диапазона температур (рис. 12). Для простоты сравнения относительная энергия всех кривых длиной волны 560 нм принята одинаковой. Чем выше температура источника, тем более возрастает его относительная энергия в сторону меньших длин волн. Для получения правильного представления об истинной характеристике излучения того или иного источника необходимо рассмотреть причины их излучения и степень приближения его к излучению абсолютно черного тела.

## § 6. КРИВАЯ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА СВЕТА

Характер и степень концентрации светового потока осветительными приборами оцениваются распределением его в пространстве и по освещаемой поверхности.

Если от центра источника света отложить векторы, изображающие в определенном масштабе силы света в разных направлениях, то концы этих векторов обозначат поверхность, называемую фотометрическим телом, которое чаще всего симметрично относительно вертикальной оси источника света или осветительного прибора. При пересечении фотометрического тела вертикальной плоскостью получится продольная кривая распределения сил света (рис. 13). Так как она симметрична, то обычно ограничиваются построением ее в пределах  $0-180^{\circ}$ .

Сечение фотометрического тела горизонтальной плоскостью, проходящей через центр источника света или осветительного прибора перпендикулярно оси симметрии, дает поперечную кривую распределения силы света, которая часто изображается окружностью (рис. 14).

Продольная и поперечная кривые распределения сил света построены в полярных координатах, а для облегчения отсчета



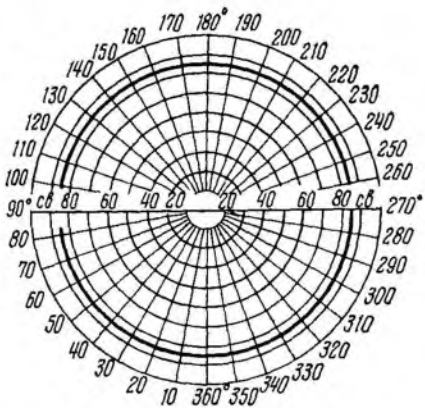
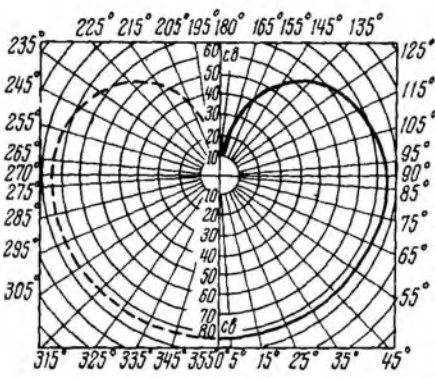
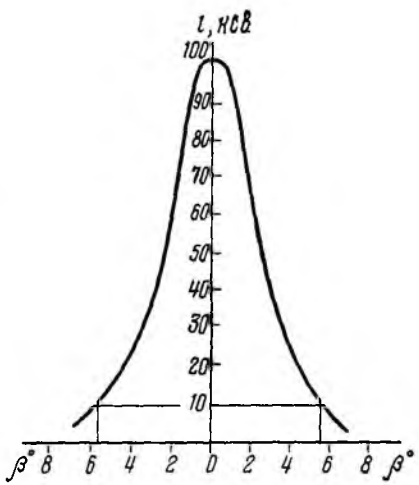


Рис. 13. Пример продольной кривой распределения силы света

Рис. 14. Поперечная кривая распределения силы света в виде окружности

Рис. 15. Кривые спектрального распределения энергии стандартных колориметрических источников света А, В, С системы МОК



сил света в различных направлениях на соответствующие графики наносится сетка концентрических окружностей, радиусы которых отвечают различным значениям сил света. Недостатком полярных координат является неизменный масштаб углов, так как вокруг точки может быть построен максимальный угол в 360°. Когда же световой поток распределяется в пределах небольшого угла (например, у прожекторов), более удобно построение кривой светораспределения в прямоугольных координатах (рис. 15), так как на таком графике масштаб для углов может быть любым.

### § 7. СТАНДАРТНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Каждый многократно наблюдал снег при различных условиях освещения: в солнечный и пасмурный день, в утренние и вечерние сумерки. И всякий раз цвет снега воспринимается как белый. Правда, если на освещенный солнечным светом снег падает

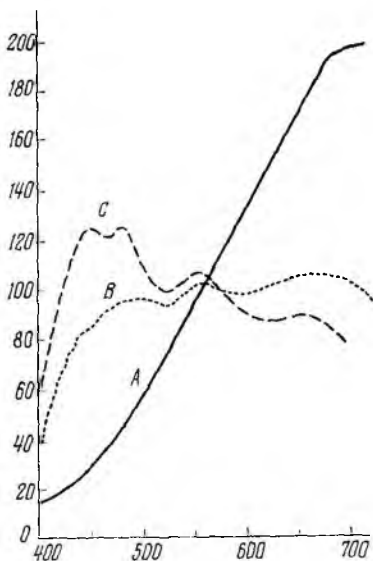


Рис. 16. Кривая распределения сил света в прямоугольных координатах

тень от предмета, то в тени снег кажется синеватым из-за освещения его только голубым светом неба. Цвет же основной части снега кажется белым.

Глаз человека не в состоянии опознать «истинно» белый цвет. Это происходит вследствие явления, называемого цветовой адаптацией, так как глаз принимает за белый любой малонасыщенный цвет, преобладающий в поле зрения. Другим примером этого явления служит свет ламп накаливания, воспринимаемый нами как белый.

В природе не существует чистого белого света. Белым принято считать свет облачного и безоблачного неба при различной высоте стояния солнца над горизонтом, хотя при этом спектральный состав света различен.

В 1931 г. Международная осветительная комиссия (МОК) в качестве стандартных приняла три источника белого света, обозначив их *A*, *B*, *C*. Цветовая температура этих источников равна: *A* — до 2800 К, *B* — 4800 К, *C* — 6500 К. При сравнении кривых спектрального распределения энергии для стандартных колориметрических источников (рис. 16) с кривыми спектрального распределения энергии других источников света можно увидеть, что кривая источника *A* близка кривым спектрального распределения энергии некоторых ламп накаливания; кривая источника *B* близка кривой распределения энергии полуденного света Солнца зимой; кривая источника *C* близка кривой распределения энергии света, излучаемого небом, полностью покрытым облаками.

Спектральная чувствительность различных цветофотографических материалов, а также различных технических приборов, связанных с поглощением и последующим преобразованием света с определенной длиной волны, должна быть согласована со спектральным распределением энергии одного из стандартных источников света. Так, для фотографических и кинематографических целей выпускаются пленки типа ЦНЛ, предназначенные для использования при освещении объекта съемки светом ламп накаливания; типа ЦНД, предназначенные для использования при освещении объекта съемки дневным светом. В телевидении за опорный белый свет принят источник типа *C*, который создает эффект несколько голубоватого освещения передаваемой сцены.

Посредством светофильтров, установленных между источником искусственного освещения и освещаемым предметом, или между предметом и регистратором отражаемого или излучаемого света (цветная фотопленка, цветоизмерительный прибор), можно изменять спектральный состав света в необходимых пределах (см. гл. «Светофильтры»).

## § 8. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Единственным первичным источником дневного света на Земле является Солнце, однако тот дневной свет, который освещает земную поверхность, представляет собой смесь солнечного света, прошедшего через атмосферу, и света, отраженного от неба и ближайших предметов. Соотношение компонентов дневного света зависит от высоты стояния Солнца, от широты и долготы освещаемой точки земного шара, от атмосферных условий. Солнечный свет создается за счет высокой температуры, и распределение энергии в видимой части спектра за пределами земной атмосферы близко к распределению энергии абсолютно черного тела при температуре  $6565^{\circ}\text{K}$ . При прохождении же света через земную атмосферу он значительно ослабляется и у поверхности Земли уже не совпадает с подлинной кривой излучения абсолютно черного тела (рис. 17). Это ослабление тем значительнее, чем ниже Солнце опускается к горизонту и чем меньше проходит сквозь атмосферу тепла и света. Это объясняется тем, что с уменьшением высоты стояния Солнца увеличивается слой атмосферы между ним и земной поверхностью.

Увеличение толщи атмосферы приводит к последовательному изменению его белого цвета на желтый, оранжевый и красный, уменьшению общей освещенности и изменению цветовой температуры с одновременным изменением общей освещенности земной поверхности. Рассмотрим, каковы условия освещенности земной поверхности в различное время суток.

### ОСВЕЩЕНИЕ ДНЕМ

Участок земной поверхности получает основное освещение двух типов: свет прямых солнечных лучей и рассеянный свет неба, и, следовательно, общая или суммарная освещенность открытого участка будет равна сумме прямой и рассеянной освещенностей:  $E = E_{\text{п}} + E_{\text{р}}$ . Как строится освещенность теневых участков?

Очевидно, в первую очередь необходимо учитывать, каким предметом дается тень, каково расположение этого предмета относительно прямого солнечного света и расположение самого участка, освещенность которого измеряется.

Рассмотрим некоторые варианты освещенности.

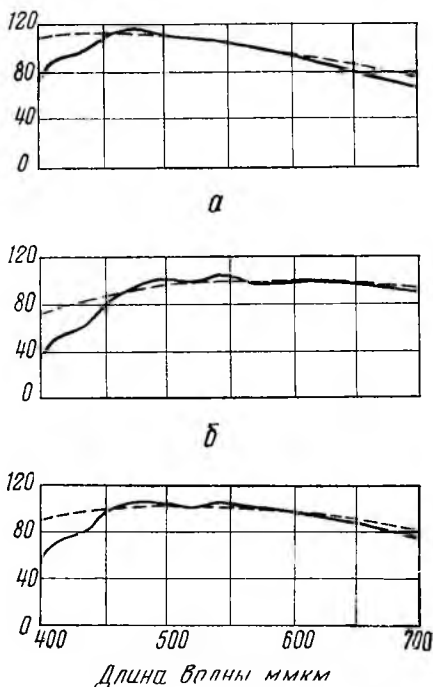


Рис. 17. Кривые спектрального распределения энергии солнечного света по сравнению с распределением абсолютно черного тела того же цвета:  
 а — излучение Солнца вне атмосферы (абсолютно черное тело при 6500 К); б — полуденное зимнее солнце (абсолютно черное тело при 5077 К); в — полуденное летнее солнце (абсолютно черное тело при 5740 К)

Рис. 18. Схема освещения солнечным светом



На рис. 18 показана тень от отдельно стоящего предмета. Это участок местности, на который не попадает прямой солнечный свет, он освещается только рассеянным светом неба. Освещенность такого теневого участка  $E = E_p$ . Чем  $E_n > E_p$ , тем чернее выглядит теневой участок. Примером максимального неравенства, когда  $E_p = 0$ , являются тени на лунной поверхности, так как на Луне нет атмосферы, следовательно, и нет рассеивающей среды. И наоборот, рассмотрим случай, когда  $E_n = E_p$  или  $E_n < E_p$ . Такое явление мы можем наблюдать в пасмурную погоду. В зависимости от толщины облачного слоя происходит ослабление прямых солнечных лучей. При таких условиях предметы не имеют теней, освещение различных сторон предмета становится примерно одинаковым, благодаря чему и возникает бедное

градациями яркостей освещение, придающее пасмурному дню унылый колорит.

Рассмотрим освещенность отдельных участков в горной местности или в городах, имеющих большое число объектов, способных давать тень и отражать падающий на них свет. В этом случае общая освещенность  $E$  будет складываться из трех составляющих:  $E_{\text{п}}$  — прямой солнечный свет,  $E_{\text{р}}$  — рассеивающий свет неба и  $E_{\text{з}}$  — свет, отражаемый от земли и находящихся на ней предметов;  $E = E_{\text{п}} + E_{\text{р}} + E_{\text{з}}$ . Отраженный земной поверхностью свет имеет влияние и на рассеянную освещенность неба. Так, если сравнить освещенность в пасмурную погоду в зимний период, когда земля покрыта снегом, и в осенний, когда земля насыщена влагой и очень мало отражает света, то увидим, что освещенность в зимний день гораздо выше. Для определения величины освещенности на закрытых участках (горы, города, лес) обычно пользуются коэффициентом освещенности  $K$ , который выражает отношение освещенности  $E'$  на закрытом участке к освещенности на открытом участке  $E$ :  $K = \frac{E'}{E}$ . Если для суммарной освещенности значения  $K$  бывают немного меньше единицы, то для рассеянной освещенности они могут доходить до 0,1 и меньше.

Рассмотрим соотношение составляющих суммарной освещенности для открытой горизонтальной поверхности. По мере уменьшения угла стояния Солнца под горизонтом лучи его принимают все более красный оттенок и убывает создаваемая ими прямая освещенность. Наряду с этим убывает и рассеянная освещенность, но менее интенсивно, в связи с чем роль голубого света неба в общей суммарной освещенности возрастает. Следовательно, чем краснее становится солнечный свет, тем меньше его доля в суммарной освещенности и спектральный состав в безоблачную погоду почти не меняется в течение дня (табл. 3).

При меняющейся облачности спектральная суммарная освещенность будет меняться, а при сплошном равномерном облачном покрове спектральный состав будет постоянен.

Какова особенность психофизиологической стороны дневного освещения?

Наилучшим видением мы обладаем днем, следовательно, в отношении физиологии зрения день — это то время, когда наши глаза работают с наибольшей эффективностью. Причем острота зрения, контрастная и цветовая чувствительность достигают своих предельных значений при рассеянном свете. В ясную же погоду условия для работы зрения днем ухудшаются от избытка света, хотя глаз благодаря своему свойству адаптации способен компенсировать довольно значительные изменения освещенности. Для смягчения яркости солнечного освещения и для лучшего его восприятия применяются очки с нейтрально-серыми (дымчатыми) стеклами, а при фотосъемке рекомендуется пользоваться нейтрально-серыми светофильтрами.

Цветовая температура различных форм естественной освещенности  
в зависимости от высоты стояния Солнца над горизонтом  
при безоблачной погоде  
(средние данные)

Высота стояния солнца $h$ , град	Цветовая температура для вида освещенности, К		
	прямая	суммарная	рассеянная (свет неба)
0	2500	—	10 000
5	2970	8300	10 000
10	3450	6000	10 000
15	4020	5800	10 100
20	4480	5700	10 200
30	4990	5500	10 000
40	5250	5500	9 900
50	5400	5500	9 900
60	5490	5500	9 900
70	5530	—	—
90	5560	—	—

### ОСВЕЩЕНИЕ В СУМЕРКИ

Переход дня в ночь происходит не сразу. Какой-то промежуток времени Земля получает слабое рассеянное освещение, постепенно переходящее в ночь. Этот период, называемый сумерками, может иметь различную длительность в зависимости от времени года и координат земной поверхности. Так, если в средних широтах сумерки бывают два раза в сутки — утром и вечером, то в северных широтах летом эти сумерки смыкаются друг с другом, образуя так называемые белые ночи. Если на севере сумерки тянутся очень долго, то на юге темнеет очень быстро. Это объясняется тем, что источником сумеречного освещения является отраженный свет Солнца, ушедшего за горизонт, и в зависимости от расположения суточного пути Солнца на определенных широтах и времени года меняется и продолжительность сумерек. Следовательно, общая освещенность во время

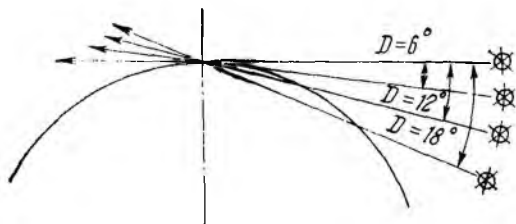


Рис. 19. Схема, иллюстрирующая периоды сумерек

сумерек определяется углом  $D$  погружения Солнца за горизонт (рис. 19). Весь период сумерек для практических целей условно разбит на три ступени, которые определяются значением угла  $D$  погружения Солнца за горизонт: гражданские сумерки, навигационные и астрономические.

## ОСВЕЩЕНИЕ НОЧЬЮ

Окончились сумерки. Солнце ушло далеко за горизонт, и все-таки даже в эти часы земная поверхность получает какую-то, правда очень слабую, освещенность.

Какие же источники освещают поверхность земли?

Это свет звезд, Луны, свечение разреженных газов в верхних слоях атмосферы и, наконец, хотя Солнце ушло далеко за горизонт, многократно отраженные отблески зари добавляют свою долю в общую освещенность. Общий итог постоянно действующих источников свечения ночного неба (звезды, свечение разреженных газов, ночные сумерки) сводится к тому, что яркость последнего составляет около  $10^{-4}$  кд/м<sup>2</sup>, 20% этой яркости приходится на долю звезд, столько же на ночные сумерки, а остальные 60% составляет люминесценция газов атмосферы, хотя яркость последней может меняться в довольно широком диапазоне.

В среднем земная поверхность горизонтальной плоскости получает ночью освещенность при безоблачной погоде 0,0005—0,001 лк, но эти цифры не учитывают освещенности, получаемой земной поверхностью от Луны, которая, хотя и является наиболее существенным источником естественного ночного освещения, не дает постоянной ее величины. Поверхность Луны посылает на Землю отраженный солнечный свет, и количество его зависит от положения Луны, Солнца и Земли. По условиям освещения почвой лунным светом лунный месяц можно разделить на четыре этапа:

1) время, близкое к новолунию, когда ночи бывают наиболее темными;

2) время, близкое к первой четверти, когда луна светит по вечерам, а вторая половина почти темная;

3) время, близкое к полнолунию, когда луна светит всю ночь и свет ее наиболее интенсивен;

4) время, близкое к последней четверти, когда вечера темные, а утренняя половина почти освещается лунным светом.

Продолжительность каждого из этих периодов равна неделе. Максимальная освещенность поверхности, находящейся перпендикулярно лучам, достигает величины 0,3 лк. Такая освещенность бывает только один раз в месяц — в день полнолуния.

Остановимся несколько подробнее на особенностях зрительного восприятия окружающих нас предметов в ночное время:

1) способность глаза воспринимать различие в яркости сравнительно низка, и если днем можно различить яркости, отличающиеся друг от друга на 1%, а при различии 5—10% предмет виден вполне отчетливо, то ночью даже для очень крупных объектов необходимо различие яркостей в 50%;

2) снижается острота зрения и промежутки между фигурами различаются только при больших угловых размерах — 30'—60';

3) цвет предметов не различается, окружающий нас мир представляет собой сочетание серых тонов различной яркости;

4) всякое изменение освещенности, которое днем не влияет на видимость, ночью значительно изменяет ее. Например, если ландшафт, освещенный ярким лунным светом, хорошо виден, то облако, закрывшее лунный диск, создает впечатление полной темноты, и наоборот, лунный свет, прошедший через окно в сплошной облачности, значительно улучшает видимость;

5) большое значение для ночного видения имеет адаптация глаза. При резком переходе из света в темноту глаз перестает видеть и только по истечении какого-то времени постепенно начинает различать окружающие нас предметы. Поэтому для тех, кому приходится вести наблюдения в ночное время, необходимо перед началом наблюдений побыть некоторое время в темноте.

#### РЕГУЛЯРНЫЕ И ПЕРЕГУЛЯРНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Как общий характер естественного освещения, так и отдельные его характеристики зависят от целого ряда регулярных и нерегулярных факторов. К числу регулярных факторов относятся такие, которые влияют на освещенность закономерно. К ним относятся высота стояния Солнца над горизонтом, время года, географические координаты освещаемой поверхности. Самым важным из них является высота стояния Солнца над горизонтом, которая выражается в угловых градусах и отсчитывается от линии горизонта. Этот фактор влияет на весь характер съемочного освещения: на освещенность, спектральный состав, контрастность освещения, на длину и направление теней. В зависимости от высоты стояния Солнца, съемочное время принято делить на три периода:

Эффективное освещение — высота стояния Солнца от 0 до 15°. Оно характеризуется малой освещенностью, повышенным содержанием оранжево-красных лучей, высокими световым и цветовым контрастами. Такое освещение является недостаточно благоприятным для съемки.

Нормальное освещение — высота стояния Солнца от 15 до 60°. Оно характеризуется высокой освещенностью, постоянством спектрального состава и небольшой световой и цветовой контрастностью, является наиболее благоприятным для съемки.



Зенитное освещение — высота стояния Солнца свыше 60°. Оно характеризуется очень высокой разницей в освещенностях горизонтальных и вертикальных поверхностей и в фотографическом отношении является наименее благоприятным.

Но если при подготовке к съемке очень легко учесть регулярные факторы, то имеется целый ряд нерегулярных факторов, учитывать которые приходится уже в момент съемки: это величина облачности, дымка, состояние погоды. Важнейшим из них является облачность. Резкая разница в интенсивности, контрастности и спектральном составе освещения наблюдается при безоблачном небе или сплошной облачности, при наличии отдельных облаков и их расположении относительно Солнца.

Дымка, или мутность атмосферы, в отличие от тумана не препятствует различению близких предметов, но в отдельных случаях влияет на общее освещение, особенно при съемке удаленных объектов. Дымка может быть воздушной, водяной или дымовой в зависимости от природы составляющих ее частиц. Дымка ослабляет прямой солнечный свет и увеличивает долю рассеянного света, понижая контраст изображения, и изменяет спектральный состав света вследствие дополнительного светорассеяния. При фотосъемке пейзажа с далью дымка как бы подчеркивает перспективу снимка, увеличивает глубину ландшафта, улучшая общее композиционное решение кадра, но в некоторых случаях она дает нежелательные искажения, ухудшает проработку деталей. В этом случае при съемке необходимо применять светофильтры, при помощи которых срезается часть сине-фиолетовых лучей и увеличивается контраст снимка, что ведет к лучшей проработке деталей удаленных предметов.

Большое влияние при фотосъемке как на общую освещенность, так и на спектральный состав оказывают наземный покров (трава, снег, пашня и т. д.) и отдельные предметы, окружающие снимаемый объект.

Таковы основные факторы, влияющие на общую освещенность и спектральный состав света, которые необходимо учитывать при фотосъемке.

## ОСОБЕННОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ В РАЗЛИЧНОЕ ВРЕМЯ СУТОК И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕГО ПРИ ФОТО- И КИНОСЪЕМКАХ

Хотя естественное освещение имеет огромное количество самых разнообразных, непрерывно меняющихся и постоянных как количественно, так и качественно факторов, можно выделить ряд основных, которые необходимо учитывать при фотографической съемке. Как было сказано выше, основными источниками естественного освещения являются солнце и небо, следовательно, объект съемки может быть освещен по следующей схеме:

- 1) солнце и ясное небо;

- 2) солнце и облачное небо;
- 3) пасмурное небо;
- 4) ясное небо (сумерки, после или до захода Солнца).

Эту схему можно разделить на две подгруппы: направленное солнечное освещение (п. 1 и 2), рассеянное освещение (п. 3 и 4).

*Фотосъемка при направленном солнечном освещении.* В чем заключается его особенность? Направление солнечных лучей относительно объекта съемки не всегда может быть благоприятным, а сам объект не всегда можно расположить в желательном направлении, поэтому фотографу необходимо выбрать такое время расположения Солнца, в которое оно дает наиболее благоприятное освещение. Необходимо также учитывать и то, что солнечное освещение создает определенный светотеневой рисунок и контрасты освещения между освещенной и теневой участками объекта, которые не всегда можно привести в соответствие с художественным замыслом, сюжетом съемки, фотографическими параметрами применяемого негативного материала, а при съемке на цветные негативные фотоленки чрезмерный контраст солнечного освещения приводит к заметным искажениям естественных цветов. Но несмотря на указанные недостатки, направленный солнечный свет имеет и свои благоприятные стороны для фотосъемки: он хорошо выявляет объемные формы сфотографированных предметов, создавая светотеневой рисунок, подчеркивает фактуру предметов, хорошо воспроизводит пространство, в котором расположен предмет.

При низком расположении Солнца над горизонтом, при совпадении направления лучей с направлением съемки возникает так называемое бестеневое (топальное) освещение, которое слабо выявляет объемные формы предметов. Все его детали залиты светом, а контрасты светотени незначительны. При этом необходимо учесть, что объекты, расположенные у аппарата, при таком освещении оказываются сильно освещены, а удаленный фон значительно слабее, что представляет определенные трудности при фотосъемке.

И наконец, разновидностью направленного освещения является контровое, оно характеризуется съемкой против Солнца и созданием светового контура на предмете (рис. 20).

*Фотографирование при рассеянном освещении.* Не всегда при фотосъемке можно пользоваться направленным солнечным светом: солнце может быть закрыто облачностью различной плотности, может идти снег или дождь, земля может покрыться туманом, наступят сумерки. Во всех этих случаях земная поверхность получает рассеянное освещение от неба и окружающих предметов. Такое освещение характеризуется следующими особенностями. Оно малоконтрастно и не образует резких и глубоких теней на объекте, равномерно освещает предметы со всех сторон, не имея выраженного преимущественного направления. Это приводит к тому, что объект изображается без естественного объема

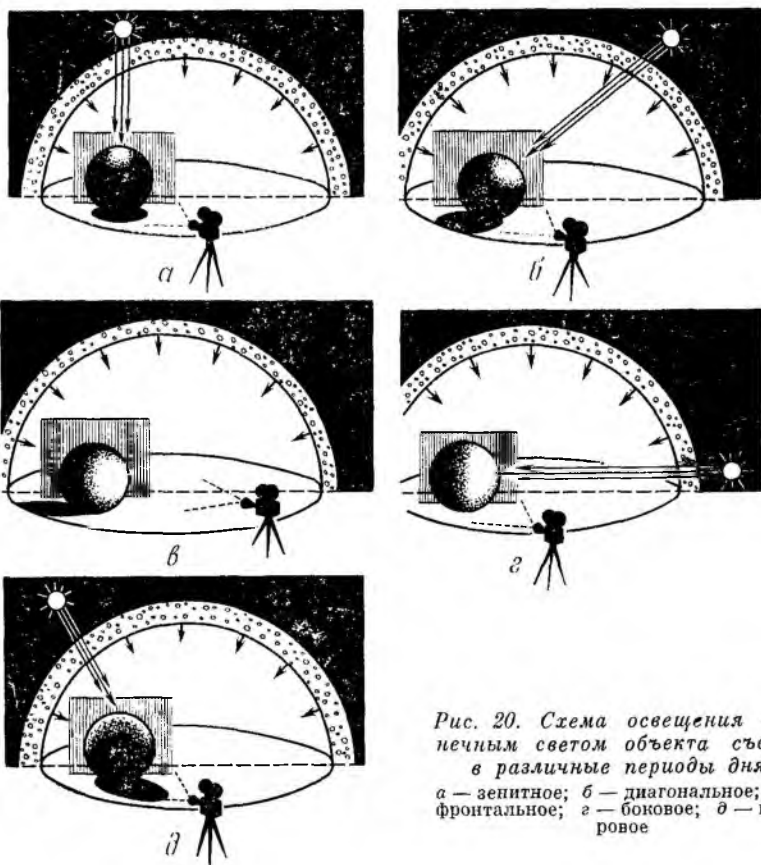


Рис. 20. Схема освещения солнечным светом объекта съемки в различные периоды дня:

а — зенитное; б — диагональное; в — фронтальное; г — боковое; д — контровое

и его формы, не подчеркнутых направленным светом, что хорошо при протокольной фиксации снимаемого объекта, но уменьшает возможность художественного его отображения. В отличие от направленного света рассеянное освещение очень постоянно и почти не подвержено изменению по направлению в течение дня. При таком освещении объект съемки почти одинаково освещен со всех сторон, что облегчает выбор точки съемки. Необходимо особо выделить направленнорассеянное освещение, когда Солнце находится за тонким слоем облаков, рисунок светотени при этом получается мягким, с небольшими контрастами. Эти условия являются наиболее благоприятными для фотографирования и являются наилучшими для цветовоспроизведения объекта при использовании цветных фотоматериалов.

Фотографирование во время дождя и тумана несколько отличается от съемки при рассеянном освещении, так как воздух насыщен каплями влаги, что способствует созданию тональной

перспективы и хорошо отделяет предметы переднего плана от фона, но наблюдается снижение контрастов.

Фотографирование в сумерки специфично тем, что в этот период естественная освещенность непрерывно изменяется, поэтому необходимо проявлять достаточную оперативность. При установке экспозиции по переднему плану задний план окажется приглушенным, что и дает эффект вечера или ночи.

## § 9. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Естественное освещение дает нам возможность видеть предметы окружающего нас мира. Солнечный свет освещает все на Земле. По имются еще искусственные источники света — от свечи до мощных осветительных приборов, заливающих ярким светом большие площади дворцов и стадионов, создавая различное эмоциональное настроение. В художественной фотографии особенно велико значение освещения съемочного пространства и главного объекта съемки — человека, поскольку с помощью света фотограф выявляет главные черты портретируемого. Характер освещения каждого художественного портрета должен сочетаться с его содержанием. По своему характеру съемочное освещение в павильоне можно разделить на светотеневое, светотональное, локальное и силуэтное.

Светотеневым называется освещение, подобное естественному направленному свету, когда основной источник (Солнце) формирует свет и тени, а рассеянный свет (небо) подсвечивает тени объекта. Светотональное освещение можно сравнить с естественным освещением в пасмурную погоду, когда рассеянный свет равномерно заполняет пространство и освещает все точки снимаемого объекта. При таком освещении хорошо воспроизводятся яркие контрасты объекта, но менее выявляются его объемные формы.

Локальное освещение — освещение ограниченной части пространства или части снимаемого объекта.

При силуэтном освещении предметы на переднем плане затенены, а освещение падает на задний план кадра. Каждый фотограф в зависимости от его творческой манеры применяет различный характер освещения, но независимо от этого схема освещения складывается из отдельных элементов, которые носят название света.

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО СВЕТА

Светотехнические данные прибора определяются его световой частью, т. е. совместной работой источника излучения и светораспределяющего устройства. Эффективность их совокупного дей-

ствия во многом определяется свойствами источника и типом светораспределяющих приборов. Остановимся на определении особо важных для световых приборов характеристик источников излучения. Все существующие источники излучения можно разделить: на лампы накаливания — прожекторные, проекционные, кинопроекционные, самолетные, сигнальные (нормальные, зеркальные, перекальные), йодно-вольфрамовые и другие типы; лампы шаровые ксеноновые сверхвысокого давления, ксеноновые трубчатые высокого давления ДКсТ, ртутные лампы типа ПРК, импульсные лампы различных типов, дуговые лампы с углями высокой интенсивности; люминесцентные лампы; ртутные лампы с йодидами.

К основным характеристикам источников излучения относятся:

- Электротехнические данные:
  - напряжение питающей сети  $V_c$
  - напряжение на лампе  $V_d$
  - сила тока в пусковой период  $i_p$
  - сила тока в рабочий период  $i_r$
  - мощность лампы  $P_d$
- Светотехнические данные:
  - световой поток  $\Phi$
  - кривая пространственного распределения силы света  $I_{d\alpha}$
  - световая отдача, лм/Вт
  - цветовая температура, К
- Геометрические параметры:
  - габаритные размеры, наибольший диаметр, общая длина, форма и размеры колбы; для ламп накаливания — высота светового центра (геометрического центра тела накаливания), размеры цоколя (или его тип), форма и размеры светящегося тела, его габаритная яркость

## ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Источником излучения в современной лампе накаливания является вольфрамовая нить, свитая в спираль и находящаяся в нейтральной атмосфере азота. Температурой накала нити определяются цветовая температура и спектральный состав излучения лампы и ее световая отдача. Разные типы ламп накаливания показаны на рис. 21.

Большая часть ламп накаливания общего назначения имеет нить накала, свернутую в незамкнутое кольцо, находящееся внутри грушевидной прозрачной колбы с резьбовым цоколем. Выпускаются такие лампы и с матированной колбой, которая значительно снижает световой поток и придает большую равномерность его светораспределению (рис. 22).

В СССР приняты условные обозначения ламп накаливания общего назначения: В — вакуумные, Г — газонаполненные с мо-

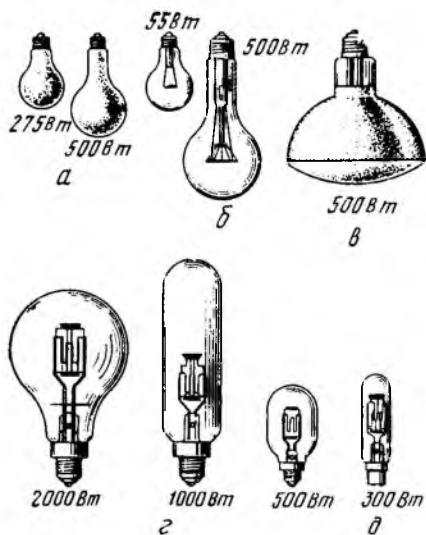


Рис. 21. Лампы накаливания разных типов:

а — фотографические; б — осветительные; в — зеркальные; г — прожекторные; д — кинопроекторные

поспиральным телом накала; Б — газонаполненные с биспиральным телом накала, БК — лампы с повышенной световой отдачей с биспиральным телом накала, колба которых заполнена криптоном.

Далее следуют три числа: первое обозначает номинальное напряжение лампы, второе — потребляемую мощность, третье — порядковый номер разработки.

В табл. 4 даны номинальные данные осветительных ламп общего назначения.

Спектральные характеристики таких ламп имеют значительное отступление от источника белого света: незначительное излучение в синей и фиолетовой частях спектра и избыток в желтой и красной. Средняя продолжительность горения — 1000 ч. Световой поток снижается до 20% в результате сгорания вольфрамовой нити и потемнения стенок колбы.

Для производства фото- и киносъемок, как правило, применяются специальные лампы большой мощности с повышенной световой отдачей и цветовой температурой. К ним относятся перекальные, зеркальные, йодно-кварцевые, прожекторные и кинопроекторные лампы.

Перекальные лампы имеют такую же конструкцию, как и обычные осветительные, но заключены в матированную колбу и работают с большим перекалом, вследствие чего отличаются значительно повышенной световой отдачей, цветовой температурой и пониженным сроком службы. Особенностью этих ламп является их значительная тепловая и световая инерционность, вследствие которой лампы достигают полного свечения лишь спустя некоторое время после включения — от нескольких десятых секунды до 1—2 с. Технические данные этих ламп даны в табл. 5.

Зеркальные перекальные лампы имеют толстостенную колбу, выполненную по специальному параболическому профилю (см. рис. 21, в) и покрытую изнутри в части, прилегающей к цоколю, зеркальным алюминиевым слоем, концентри-

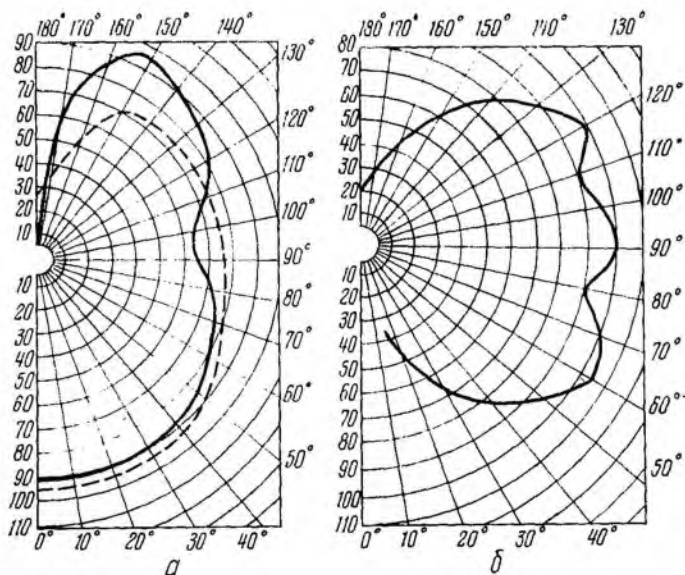


Рис. 22. Кривые распределения силы света лампы с прозрачной и матированной колбой:

а — кривые построены для условной лампы со световым потоком 1000 лм: (—) — в прозрачной колбе, (---) — в матированной колбе; б — кривая построена в процентах от силы света под углом  $90^\circ$

рующим свет в пределах определенного угла. Для смягчения возможных бликов и улучшения равномерности светового пятна, образуемого лампой, выходная куполообразная часть стеклянной колбы матирована. Такие лампы представляют собой готовый осветительный прибор, дающий довольно концентрированный и достаточно равномерный пучок световых лучей.

Продольная кривая светораспределения показана на рис. 23. Осевая сила света такой лампы в номинальном режиме приблизительно в 7 раз больше осевой силы света обычной осветительной лампы накаливания той же мощности. Характеристики ламп приведены в табл. 6.

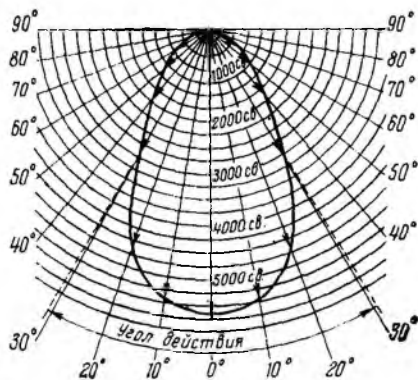


Рис. 23. Продольная кривая светораспределения лампы зеркального типа

Таблица 4

Технические данные ламп накаливания общего назначения  
(ГОСТ 2239—70)

Мощность, Вт	Тип лампы	Световой поток, лм. ламп при напряжении, В, равном				Размер, мм		
		127	127—135	220	220—235	D	L	H
15	В	135	110	105	85			
25	В	260	195	220	190	61	107	
40	Б	490	370	400	300	61	114	
40	БК	520	—	460	—	46	90	
60	Б	820	650	715	550	61	114	—
60	БК	875	—	790	—	51	96	
100	Б	1560	1250	1350	1090	66	129	
100	БК	1630	—	1450	—	61	105	
150	Г	2300	—	2000	—			
150	Б	—	2000	2100	1840	81	175	—
200	Г	3200	2780	2800	—			130
200	Б	—	—	2920	2540			
300	Г	4950	—	4600	4000	112	240	180
500	Г	9100	—	8300	7200			
750	Г	—	—	13100	—	152	345	250
1000	Г	19500	—	18600	—			
1500	Г	29600	—	29000	—	167	345	250

Примечания: 1. Лампы мощностью до 150 Вт могут изготавливаться в матированных, молочных или опалиновых колбах (соответственно МГ, МЛ и ОП) с уменьшением светового потока на 3% при матированных и опалиновых колбах и на 20% — при молочных колбах.

2. Лампы мощностью до 300 Вт изготавливают с цоколем Е27, лампы мощностью 300 Вт могут поставляться с цоколем Е27 и Е40 (длина лампы с цоколем Е27  $L = 236$  мм и высота светового центра  $H = 175$  мм), лампы большей мощностью (500, 750, 1000 и 1500 Вт) изготавливают с цоколем Е40.

3. Допускается изготовление ламп мощностью до 200 Вт включительно с цоколем В22d с уменьшением  $L$  на 2 мм и  $H$  на 8 мм.

4. Лампы типа БК (биспиральные криптоновые) выпускаются в прозрачных грибовидной формы колбах.

5. Срок службы ламп: 1000 ч — для ламп 127 и 220 В, 2500 ч — для ламп 127—135 и 220—235 В.

6. Лампы напряжением 127—135 и 220—235 В предназначены для сетей, в которых напряжение может длительно превосходить номинальное; световой поток и срок службы указаны для номинального напряжения.

Йодпо-кварцевые лампы — новый тип вольфрамовых ламп накаливания, разработанный в последние годы и получивший название йодпо-кварцевых, или галогенных. Вольфрамовая нить помещена в колбу из кварцевого стекла, наполненную инертным газом с добавлением небольшого количества йода (0,1 мг на 1 см<sup>3</sup> газа). Вольфрамовая нить накаляется до температуры 2700—3000°С. Температура содержащегося в колбе газа посте-



## Перекальные лампы

Тип лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Средняя продолжительность горения, ч
Ф127-275	127	275	8 800	32	4
Ф127-500	127	500	17 000	34	8
Ф220-275	220	275	8 000	29	4
Ф220-500	220	500	14 500	29	8
Ф220-300	220	300	7 400	24,7	6

пепно падает в направлении к стенкам колбы, которые нагреваются от 250 до 600—700°С. Верхний предел температуры внутренних стенок колбы ограничен той, при которой еще происходит реакция соединения атомарного йода с парами вольфрама (1200°С), и определяется температурой размягчения материала колбы (для кварца около 1600°С). В процессе горения лампы испаряющийся с поверхности нити вольфрам осаждается на стенках колбы, где вступает в химическую реакцию с парами йода, образуя при температуре стенок стекла более 250°С йодид вольфрама  $WI_2$ . Это соединение в интервале температур 250—1450°С газообразно и, находясь вблизи раскаленной вольфрамовой нити, разлагается на вольфрам и йод; первый осаждается на нить, второй снова вступает в реакцию с газообразным вольфрамом. Такой цикл повторяется постоянно в течение всего времени работы

Таблица 6

## Зеркальные перекальные лампы

Тип лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт	Осевая сила света, кд	Срок службы, ч
K110-250	110	250	2 600	50
K127-250	127	250	3 300	5
K110-500	110	500	7 800	100
K127-500	127	500	10 000	6
K220-250	220	250	3 000	5
K220-500	220	500	7 900	6
K220-700	220	700	18 000	5

лампы. Таким образом происходит постоянная регенерация вольфрамовой нити, но учитывая, что температура отдельных ее участков неодинакова, размеры нити полностью не восстанавливаются. Однако срок службы такой лампы по сравнению с перекальной значительно увеличивается, а колба почти не темнеет.

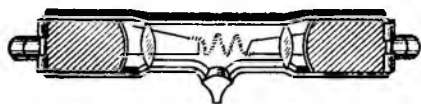
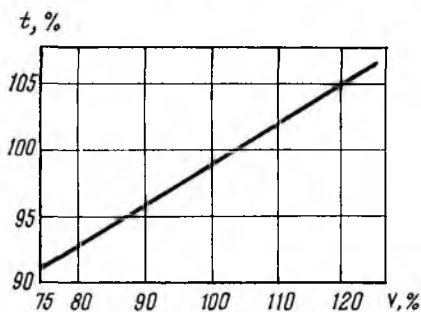


Рис. 24. Подная лампа КИМ30-300

Рис. 25. Зависимость температуры нити вольфрамовой лампы накаливания от питающего напряжения



Следовательно, световой поток лампы сохраняется почти постоянным в течение всего срока службы, снижаясь к концу его на 2—5%. В настоящее время йодные лампы выпускаются мощностью от 100 до 5000 Вт. Внешний вид лампы дан на рис. 24.

Пржекторные и кинопроекторные лампы (см. рис. 21, *г, д*) имеют нить накала, свернутую в несколько цилиндрических спиралей, расположенных в одной или в двух параллельных плоскостях так, чтобы тело накала в целом имело форму плоского прямоугольника. Такая форма дает различные кривые светораспределения в разных сечениях и требует расположения ламп в осветительных приборах в определенном положении по отношению к отражателю.

Температура колб мощных киносъёмочных и фотоламп достигает  $300^{\circ}\text{C}$  и более, поэтому их изготавливают из специальных сортов стекла. В связи с высокой температурой тела накала в процессе горения лампы идет интенсивное распыление вольфрамовой нити. Цилиндрическая форма колбы частично препятствует ее почернению, поэтому для уничтожения налета на стенках колбы в каждую лампу вводится крупнозернистый порошок вольфрама, который при встряхивании стирает налет на внутренней стенке колбы и делает ее снова прозрачной. Основные технические данные этих ламп приведены в табл. 7.

Характеристики ламп накаливания всех типов имеют большую зависимость от величины подведенного к ним напряжения. Если оно отличается от номинального, то происходит изменение температуры нити, в соответствии с этим происходит изменение и других параметров (рис. 25). Так, при изменении напряжения на  $\pm 1\%$  при номинальном 110—127 В световой поток изменится на  $\pm 3,5\%$ , световая отдача — на  $\pm 1,8\%$ , потребляемая мощность — на  $\pm 1,5\%$ , средняя продолжительность горения изменится — на  $\pm 13\%$ , сила тока — на  $\pm 0,5\%$ , сопротивление нити накала — на  $\pm 0,4\%$ , цветовая температура — на  $\pm (10—15\text{ K})$ .

В табл. 8 приведены значения светового потока, потребляемой мощности и средней продолжительности горения в процен-

## Кинопроекторные лампы накаливания

Тип лампы	Напряже- ние, В	Мощ- ность, Вт	Световой поток, лм		Световая отдача, лм/Вт	Средняя продолжи- тельность горения, ч
			началь- ный	в конце срока службы		
КПЖ-1	110	150	3 700	2 800	25,0	5
КПЖ-2	110	500	14 000	10 500	28,0	15
КПЖ-3	110	2 000	56 000	42 000	28,0	25
КПЖ-4	110	3 000	84 000	63 000	28,0	50
КПЖ-5	110	5 000	147 000	110 500	29,5	50
КПЖ-6	110	10 000	295 000	221 000	29,5	75
ПЖК220-5 000	220	5 000	147 500	110 500	29,5	30
ПЖК220-10 000	220	10 000	295 000	221 000	29,5	45

тах от номинального значения в зависимости от фактического напряжения в сети для 110, 127, 220 В.

При использовании ламп накаливания (особенно больших мощностей) необходимо учесть, что частые включения и выключения их сказываются на сроке службы, так как электрическое сопротивление вольфрамовой нити в холодном состоянии в 8—12 раз меньше, чем при ее горении. Поэтому пусковой ток через лампу в момент включения может достичь 8—12-кратной величины от номинального, что ведет за собой перегорание нити и предохранителей.

Для уменьшения пускового тока рекомендуется применять специальные реостаты, которые не только уменьшают опасность

Таблица 8

## Зависимость светового потока от фактического напряжения в сети

Изменение напряжения, %	Рабочий режим ламп при номинальном напряжении, В			Световой поток, %	Потребляе- мая мощ- ность, %	Средняя продолжи- тельность горения, %
	110	127	220			
80	88	102	176	43	71	2000
85	93	108	187	51	78	1000
90	99	114	198	68	85	300
95	104	121	209	83	92	110
100	110	127	220	100	100	100
105	116	133	231	120	108	50
110	121	140	242	140	116	30
115	126	146	252	164	124	20
120	132	152	264	189	132	12
125	138	159	275	217	141	10

перегорания ламп, по и позволяют применять при съемке на черно-белые фотоматериалы различные эффекты освещения.

К недостаткам ламп накаливания можно отнести их большую чувствительность к механическим повреждениям, невозможность наклона лампы на угол более  $45^\circ$  во время горения, значительную теплоотдачу и сравнительно короткий срок службы.

## ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Газоразрядными называют источники света, колба которых наполнена обычно чистым инертным газом или в смеси с небольшим количеством металла, обладающего высокой упругостью паров (ртуть, натрий, кадмий и др.) под определенным давлением. Под действием высокого напряжения в лампе возникает электрический разряд, который вызывает свечение газа. В отличие от тепловых источников света, у которых источником излучения является накалившееся тело, в газоразрядных источниках света излучение происходит от участка межэлектродного промежутка, заполненного газом.

Наибольшее распространение среди газоразрядных источников света получили ртутные лампы различных типов. В зависимости от давления паров внутри колбы различают следующие разновидности ртутных ламп: лампы низкого давления (1,3—133 Па), высокого давления (30—300 кПа) и сверхвысокого давления (свыше 300 кПа). Перечень газоразрядных источников света довольно обширен, как и их применение. Остановимся на некоторых из них.

*Люминесцентные лампы.* Это лампы (рис. 26) низкого давления с нанесенным на внутренние стенки трубки люминофором, которые в настоящее время стали источниками света массового применения.

Электрический ток, проходя между электродами лампы, вызывает электрический разряд в парах ртути и аргона, наполняющих трубку. Невидимые для глаза ультрафиолетовые излучения, возникающие в результате этого разряда и составляющие около 85% всей энергии излучения, облучают тонкий слой люминофора и вызывают видимое его свечение (фотолюминесценцию). Благодаря такому преобразованию в люминофорах невидимых ультрафиолетовых излучений в видимые люминесцентные лампы обладают значительно более высокой экономичностью.

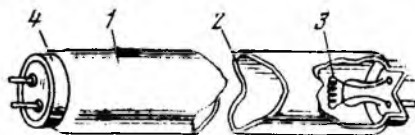


Рис. 26. Трубчатая люминесцентная лампа:

1 — колба лампы; 2 — люминофор; 3 — катод; 4 — цоколь

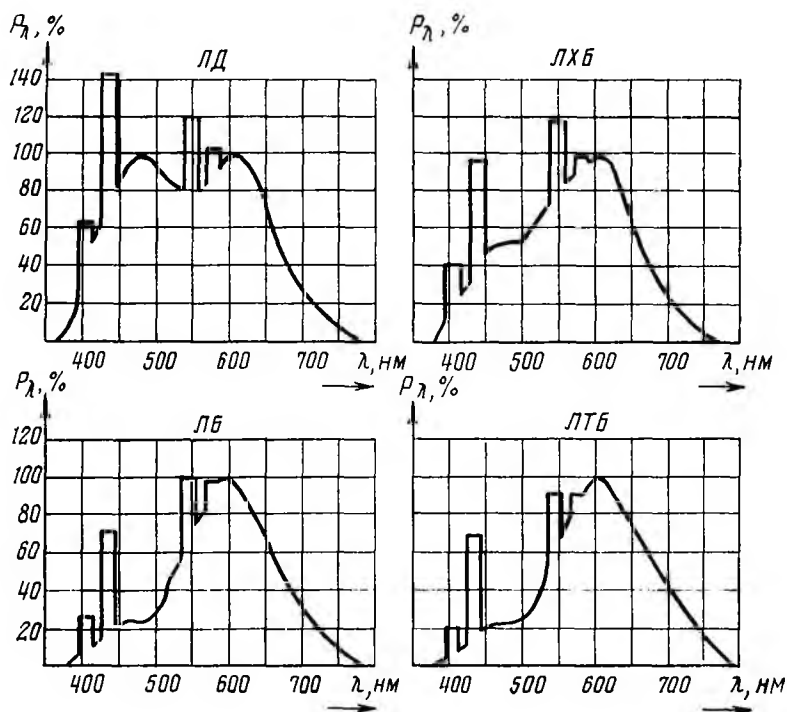


Рис. 27. Спектральный состав излучения люминесцентных ламп разных типов

Так, например, световая отдача ламп накаливания 220 В мощностью 100—300 Вт составляет 13,2—15 лм/Вт, а для люминесцентных ламп ЛДЦ — 40—52 лм/Вт. Если срок службы ламп накаливания составляет 1000 ч, то для люминесцентных ламп — 12 000 ч.

Более высокая световая отдача люминесцентной лампы объясняется более высоким энергетическим КПД и значительно лучшим, чем у ламп накаливания, распределением излучений в видимой зоне спектра.

Люминесцентные лампы согласно ГОСТ 6825—74 выпускаются пяти типов, различающихся по цветности излучения: лампы дневные (ЛД), лампы дневные с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), холодно-белые (ЛХБ), белые (ЛБ) и тепло-белые (ЛТБ) мощностью 15, 20, 30, 40, 65 и 80 Вт.

В табл. 9, 10 даны основные размеры, световые и электрические характеристики люминесцентных ламп, а на рис. 27 даны кривые спектрального излучения указанных ламп, которые имеют существенное значение при фотосъемке, особенно при использовании цветных фотоматериалов.

Таблица 9

Основные размеры прямолинейных люминесцентных ламп низкого давления  
(ГОСТ 6825—74)

Нормируемая величина лампы	Размеры, мм, для ламп мощностью, Вт					
	15	20	30	40	65	80
Диаметр	27	40	27	40	40	40
Полная длина	451,6	604,0	908,8	1213,6	1514,2	1514,2
Длина без контактных штырьков	437,4	489,8	894,6	1194,4	1500,0	1500,0

Примечание. Тип цоколя (ГОСТ 17101—71): для ламп 15 и 30 Вт G13d — 13/24; для ламп 20, 40, 65 и 80 Вт G13d — 13/35.

Таблица 10

Световые и электрические характеристики люминесцентных ламп  
(ГОСТ 6825—74)

Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Ток, А	Номинальный световой поток, лм				
			ЛДЦ	ЛД	ЛХБ	ЛТБ	ЛБ
15	54	0,33	500	590	675	700	760
20	59	0,37	820	920	935	975	1180
30	104	0,36	1450	1640	1720	1720	2100
40	103	0,43	2100	2340	3000	3000	3120
65	110	0,67	3050	3570	3820	3980	4650
80	102	0,865	3740	4070	4440	4440	5220

Примечание. Средняя продолжительность горения ламп всех типов 12 000 ч.

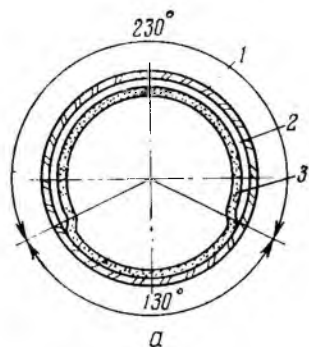
При использовании для фотосъемки в качестве осветительного оборудования люминесцентных ламп можно руководствоваться следующими указаниями:

Тип люминесцентных ламп	Рекомендуемая цветная пленка
ЛТБ	ЦНЛ
ЛБ	ЦНД с проверенным балансом по контрасту и с достаточной шириной
ЛХБ, ЛД; ЛДЦ	ЦНД

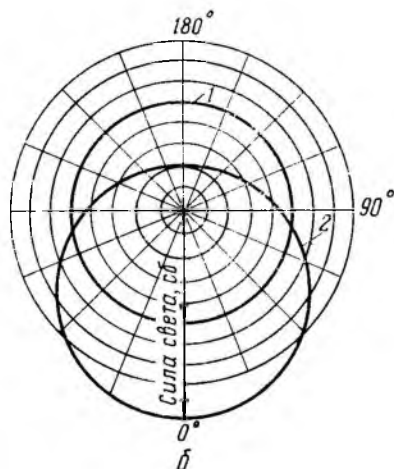
Кроме прямых трубчатых ламп, освоен выпуск кольцевых и U-образных люминесцентных ламп с аналогичными световыми характеристиками, приведенными в табл. 11. Применение таких ламп даст возможность создать более компактные светильники.

Рис. 28. Люминесцентная лампа с внутренним отражающим слоем:

а — разрез: 1 — стекло лампы; 2 — отражающий слой; 3 — слой люминофора; б — кривая распределения силы света: 1 — кривая сила света в обычной люминесцентной лампе в поперечной плоскости; 2 — кривая сила света лампы ЛБР-40



а



б

Электрорамповые заводы приступили к выпуску люминесцентных ламп мощностью 40 и 80 Вт с внутренним диффузно-отражающим слоем типа ЛБР. В этих лампах до слоя люминофора на большую часть внутренней поверхности трубки наносится слой порошка, хорошо отражающего свет. Остается непокрытой только узкая полоса вдоль трубки, через которую и направляется весь световой поток, и хотя величина его на 10—15% ниже, чем у обычных ламп, они удобны тем, что могут использоваться в светильниках без отражателей и имеют лучшую кривую распределения силы света. На рис. 28 дан разрез такой лампы и кривая ее светораспределения.

Для освещения сцен, декоративного оформления, а также для фото- и киносъемок на цветные фото- и киноматериалы получили применение цветные люминесцентные лампы мощностью 40 Вт. Они обладают значительно большим сроком службы и световой отдачей, чем лампы накаливания с цветными фильтрами. Их технические характеристики приведены в табл. 12.

Но наряду со многими достоинствами люминесцентные лампы имеют и ряд недостатков. Одним из главных является сложность включения их в сеть, связанная с особенностями газового разряда, что ведет к применению специальных пускорегулирующих аппаратов. Устойчивая работа большинства ламп возможна только при наличии устройства, ограничивающего величину тока (дросселя). Лампы чувствительны к изменениям окружающей температуры. Ярче всего они горят при комнатной температуре 20—25°С, понижение и повышение температуры резко снижает светоотдачу, а при понижении температуры до 0°С в обычном конструктивном исполнении работать практически не могут.

Таблица 11

## Технические характеристики U-образных и кольцевых люминесцентных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	Световой поток, лм	Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	Световой поток, лм
ЛДЦУ-15	15	58	0,3	450	ЛДЦУ-40	40	108	0,41	1520
ЛДУ-15				450	ЛДУ-40				1520
ЛБУ-15				630	ЛБУ-40				2360
ЛХБУ-15				525	ЛЗБУ-40				2000
ЛТБУ-15				525	ЛТБУ-40				2000
ЛДЦУ-20	20	60	0,35	620	ЛДЦУ-80	80	108	0,82	2720
ЛДУ-20				620	ЛДУ-80				2720
ЛБУ-20				800	ЛБУ-80				3680
ЛХБУ-20				780	ЛХБУ-80				3520
ЛТБУ-20				780	ЛТБУ-80				3520
ЛДЦУ-30	30	104	0,36	1110	ЛБК-20	20	68	0,33	820
ЛДУ-30				1110	ЛБК-22	22	66	0,38	850
ЛБУ-30				1680	ЛБК-32	32	82	0,41	1500
ЛХБУ-30				1500	ЛБК-40	40	103	0,44	2100
ЛТБУ-30				1500					

Примечание. Средняя продолжительность горения U-образных ламп 7500 ч, кольцевых — 5000 ч.

Таблица 12

## Технические характеристики цветных люминесцентных ламп мощностью 40 Вт

Тип лампы	Напряжение на лампе, В	Ток, А	Световой поток, лм	Срок службы, ч	Тип лампы	Напряжение на лампе, В	Ток, А	Световой поток, лм	Срок службы, ч
ЛК40	103	0,43	310	7500	ЛК40БП	108	0,41	310	3000
ЛЗ40	103	0,43	2100	7500	ЛЗ40БП	108	0,41	2000	3000
ЛЖ40	103	0,43	1380	7500	ЛЖ40БП	108	0,41	1360	3000
ЛГ40	103	0,43	900	7500	ЛГ40БП	108	0,41	800	3000
ЛР40	103	0,43	530	7500	ЛР40БП	108	0,41	520	3000

Примечания: 1. Размеры лампы мощностью 40 Вт: диаметр 38 мм, длина со штырьками 1214,4 мм.

2. Расшифровка буквенных обозначений: К — красная, З — зеленая, Ж — желтая, Г — голубая, Р — розовая. Буквы БП обозначают лампы быстрого зажигания.

3. На люминесцентную лампу быстрого зажигания наносится электропроводящая пленка или полоса.



Источниками общего ультрафиолетового излучения являются ртутно-кварцевые лампы высокого и сверхвысокого давления, которые изготавлиются в широком ассортименте размеров и мощностей. К ним относятся лампы типа ДРТ (ПРК — прямая ртутно-кварцевая) и РКС (ртутно-кварцевая для светокопировальных аппаратов). Эти лампы получили широкое распространение в технике (фотохимические процессы, люминесцентный анализ), а также в театральной практике в специальных приборах «черного» (невидимого) света для облучения декораций, написанных специальными светящимися красками.

## ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Источники света, предназначенные для создания кратковременных, обычно большой интенсивности, вспышек, получили название импульсных. Энергия вспышки выражается в джоулях (ватт-секундах), а эффект освещения — величиной освечивания, равной произведению силы света на время (кд·с).

Импульсные лампы выпускаются двух типов: одноразовые и многоразовые.

Одноразовые — маленький стеклянный баллончик, заполненный специальным составом (алюминиевая или магниевая фольга в атмосфере водорода, химических веществ и т. д.), способным под действием электрического тока воспламениться и давать интенсивную вспышку света. Такие лампы-вспышки бывают различной формы и размеров и рассчитаны на установку в самостоятельный отражатель. Питание их в большинстве случаев происходит от малогабаритной сухой батарейки. Так как вспышка в лампе происходит через некоторый промежуток времени после включения контактов, то синхронизатор в аппарате должен замыкать их раньше полного открытия затвора (около 0,02 с). Для этого синхронизатор фотоаппарата устанавливают на контакт, обозначенный буквой М.

Многоразовые основаны на использовании искрового разряда. Основные типы импульсных ламп имеют трубчатую или шаровую форму. Трубки изготавливают из тугоплавкого стекла или кварца различных диаметров, в концы которых впаяны металлические электроды. Трубки наполняют газом при низком давлении. Они имеют разную длину и форму, как прямую, так и изогнутую. В шаровых импульсных лампах с высоким давлением газа достигается разряд значительной яркости. Напряжение на трубку поступает от конденсатора, накопившего необходимое количество энергии.

При включении лампы конденсатор, мгновенно разряжаясь, ионизирует газ и вызывает интенсивную световую вспышку. В зависимости от конструкции лампы продолжительность вспышки колеблется от 1/400 до 1/10 000 с. Число вспышек также зависит

от конструкции лампы и может превышать 10 000. Между вспышками происходит охлаждение лампы и зарядка конденсатора.

Освещенность изображения в плоскости негатива фотоаппарата определяется ведущим числом, которое выражает произведение величины действующего отверстия объектива на расстояние до объекта съемки. Ведущее число является важнейшим показателем лампы и зависит от типа лампы, ее положения в отражателе, величины отражателя, источника питания и др. Величина его, указываемая на лампе, рассчитана на определенную светочувствительность фотоматериала. При использовании фотоматериалов другой чувствительности вводится соответствующая поправка.

Спектральный состав света ксеноновых и криптоновых импульсных ламп близок к составу дневного света при сплошной облачности и характеризуется цветовой температурой в пределах 5500—7000 К в зависимости от рода и давления газа и параметров электрической схемы.

#### *Цветовая температура источников света*

Источник света	Цветовая температура, К
Лампы накаливания при большом недокале . . . . .	} 2500
Солнце у горизонта . . . . .	
Лампы накаливания при нормальном напряжении	} 2850
Люминесцентные лампы типа ЛТБ . . . . .	
Прожекторные лампы накаливания . . . . .	3100
Порошковая магниевая вспышка . . . . .	3350
Фотолампа . . . . .	3500
Магниевая лента-вспышка . . . . .	3700
Люминесцентная лампа типа ЛХБ . . . . .	4700
Свет солнца без неба . . . . .	4850
Солнце + небо на открытой вертикальной плоскости . . . . .	5100
Солнце + небо на открытой горизонтальной плоскости . . . . .	5500
Свет при сплошной облачности . . . . .	6000
Импульсная ксеноновая лампа . . . . .	6300
Люминесцентная лампа типа ЛД . . . . .	6700
Тень вертикальная 90° от солнца при участии отраженного света . . . . .	7100
Тень вертикальная 180° от солнца при участии отраженного света . . . . .	8200
Тень на открытой вертикальной плоскости 90 или 220° от солнца . . . . .	10 500
Тень на открытой вертикальной плоскости 180° от солнца . . . . .	12 000

## Глава II. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

### § 10. КЛАССИФИКАЦИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Из рассмотренных в § 9 вопросов съёмочного освещения в павильоне можно сделать вывод, что фотографу необходимы управляемые пучки света, которыми можно создавать на снимаемом объекте различный световой рисунок. Для этих целей источник света помещается в специальную арматуру, снабжённую отражающими, рассеивающими или преломляющими поверхностями.

Такое устройство, предназначенное для перераспределения светового потока, называется осветительным прибором.

В зависимости от назначения световые приборы классифицируются на светильники — приборы, служащие для освещения предметов, находящихся на небольших от них расстояниях (всего в несколько раз превышающих размеры светового отверстия), и перераспределяющие световой поток внутри значительных телесных углов, и прожекторы — осветительные приборы, предназначенные для освещения удалённых предметов, осуществляющие максимальную концентрацию светового потока по заданному направлению.

Всякий светильник характеризуется кривой распределения сил света, углом рассеяния или действия, защитным углом и коэффициентом полезного действия.

Продольная кривая распределения сил света полностью характеризует световой поток симметричных светильников, получивших наибольшее практическое применение (поперечная кривая распределения сил света этими приборами близка к окружности).

Продольная кривая распределения сил света (рис. 29) позволяет определить две важнейшие характеристики светильника: коэффициент усиления и угол рассеяния.

Коэффициентом полезного действия светильника ( $\eta$ ) называют отношение его светового потока к полному световому потоку источника света:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{осв}}}{\Phi_{\text{ист}}}.$$

Величина КПД характеризует экономичность светильника и доходит у рациональных приборов до 0,80—0,85.

Светильники прямого света используют для освещения горизонтальных поверхностей. Светильники рассеянного света применяют в помещениях со светлыми потолками и стенами. Они обеспечивают равномерное (без теней) освещение. Светильники отражённого света пригодны для декоративного освещения.

Приборы прожекторного класса характеризуются тем, что фокальные лучи после отражения или преломления всеми точками оптического устройства направлены параллельно оптической осн.

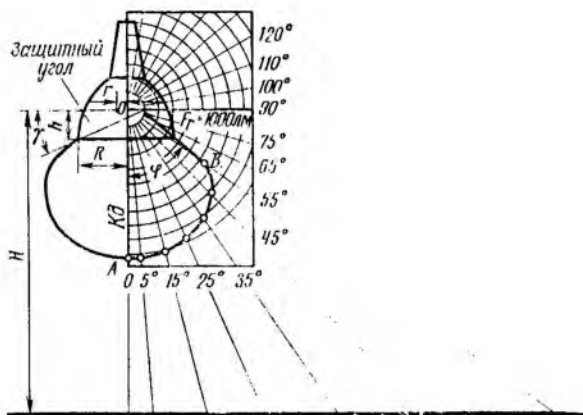


Рис. 29. Продольная кривая распределения сил света светильника

Однако прожекторы имеют ряд существенных недостатков: оформление луча происходит на довольно значительном расстоянии от зеркала, что требует большого расстояния от осветителя до снимаемого объекта; неравномерность светового пятна, в котором обнаруживаются концентрические кольца и блики; при применении мощных источников света, дающих высокий температурный режим, стеклянные зеркала трескаются, а металлические тускнеют.

Для устранения указанных недостатков можно применить вместо сплошного параболического зеркала секционный зеркальный отражатель, который дает большую равномерность освещенности и имеет больший угол рассеяния; световой луч оформляется на относительно близком расстоянии (3—5 м) от прожектора, и, наконец, стоимость такого отражателя значительно ниже.

В кинематографии получили широкое распространение прожекторы с диоптрической системой. Основная их часть — линза, в главном фокусе которой располагается источник света (рис. 30).

В фотоавильонах получили наибольшее распространение прожекторы с катодиоптрической системой (световой поток перераспределяется путем отражения и преломления), так как в них в качестве источника света применяются лампы накаливания.

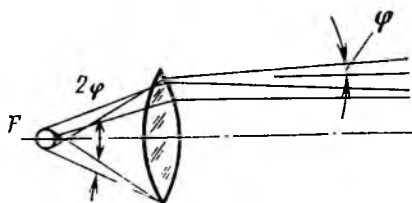


Рис. 30. Схема линзового прожектора с дуговой лампой

Рис. 31. Схема линзового прожектора с лампой накаливания (а) и действия сферического зеркала прибора (б)

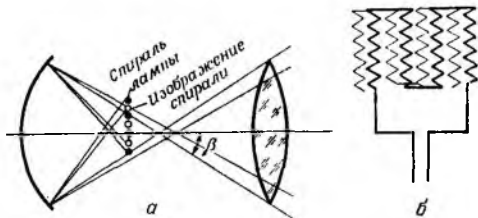
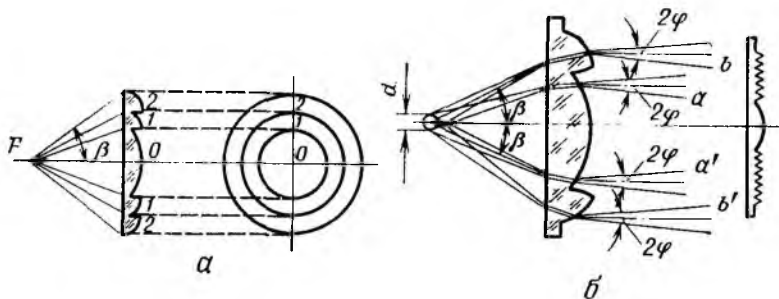


Рис. 32. Действие линзы Френеля в прожекторе



В этой схеме (рис. 31, а) имеется сферическое зеркало, расположенное позади источника света, которое при определенной юстировке даст изображение спиралей в промежутке между действительными витками (рис. 31, б), что дает более равномерное освещение снимаемого объекта.

Линзовые прожекторы дают резко очерченное яркое пятно, позволяющее эффектно осветить ту или иную деталь снимаемого объекта.

К недостаткам сферических линз, применяемых в таких прожекторах, относится сравнительно малое отверстие и небольшой угол охвата. Увеличение указанных параметров ведет к значительному увеличению аберраций. Вместо сферических линз большого диаметра Френелем были предложены ступенчатые линзы, в которых наружная поверхность разбита на ряд зон и смещена по отношению к источнику света (рис. 32). В каждом из призматических колец лучи от точечного источника света, помещенного в фокусе (рис. 32, а), преломляются и выходят наружу параллельным пучком.

Линзы Френеля получили широкое применение в осветителях для съемочного освещения, так как позволяют сохранить равномерность светового пятна. При смещении источника света с фокуса линзы изменяется и угол рассеяния светового луча (рис. 32, б), что также относится к достоинствам линзовых прожекторов.

## § 11. СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В ФОТОПАВИЛЬОНАХ

Для быстрой и удобной установки осветительной аппаратуры в необходимом для съемки положении используются различные системы креплений: напольная, потолочная, консольная, подвесная.

Напольная система крепления — различной конструкции штативы, при помощи которых осветительный прибор крепится в определенном положении. Такие штативы устойчивы, их легко перемещать в пределах павильона, с их помощью можно устанавливать осветительный прибор на необходимую высоту (рис. 33).

Очень удобен в работе передвижной консольный штатив (рис. 34). Конструкция такого штатива позволяет подвести осветительный прибор к снимаемому объекту на любое расстояние, не мешая при этом самому съемочному процессу и перемещению камеры.



Рис. 33. Штативы для осветительных приборов



Рис. 34. Осветительный прибор на передвижном консольном штативе

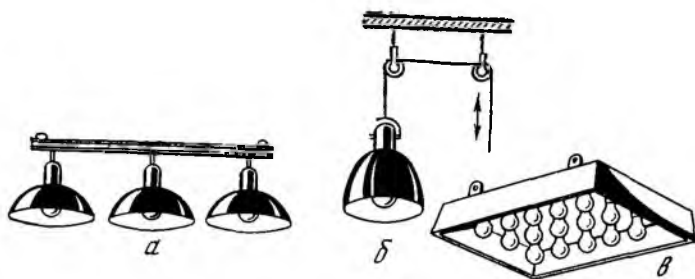


Рис. 35. Примеры светильников, укрепляемых на потолке



Рис. 36. Примеры светильников консольного крепления

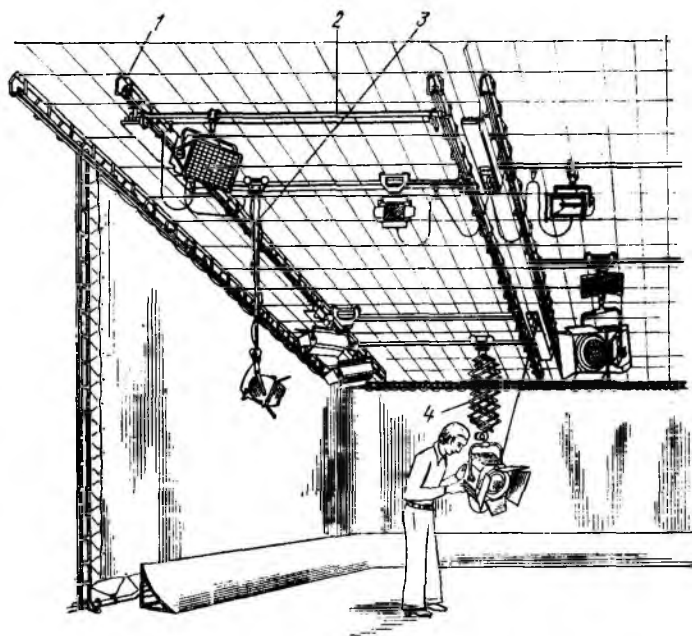


Рис. 37. Подвесная осветительная система

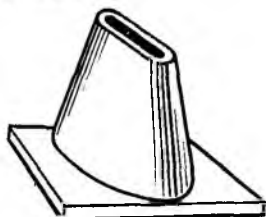


Рис. 38. Щелевой тубус для подсветки глаз



Потолочное крепление служит для крепления приборов верхнего света, предназначенных для освещения съемочной площадки сверху. Такие приборы создают по всей площади равномерное освещение. Их изготовляют в виде отдельных источников (рис. 35, а, б) или площадок (рис. 35, в) с различным количеством источников света. В качестве источников света в таких осветителях в зависимости от их конструкции могут применяться как лампы накаливания, так и люминесцентные.

Консольное крепление — опорная часть такого крепления крепится к стене (рис. 36), а несущая осветительную арматуру должна иметь несколько степеней свободы, чтобы при фотосъемке можно было осветительный прибор поставить в нужное для съемки положение. Применение таких систем ограничено, и используют их, как правило, при небольших размерах съемочных павильонов.

Подвесная система представляет собой легко передвигаемые по укрепленным под потолком подвесным путям 1 (рис. 37) горизонтальные балки (траверсы) 2 с закрепленными на них осветительными приборами. Осветительные приборы на траверсах подвешивают при помощи телескопической трубчатой подвески 3 или пантографа 4, которые позволяют изменять высоту подвеса прибора и обеспечивают неизменность ее в заданном положении. Для крепления приборов используют различные зажимы.

## § 12. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ СВОИХ СВОЙСТВ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Для изменения характера освещения, создаваемого на объекте осветительными приборами, используют различного рода устройства, устанавливаемые непосредственно на них.

Эти устройства можно разделить на механические и оптические.

К механическим устройствам относятся:

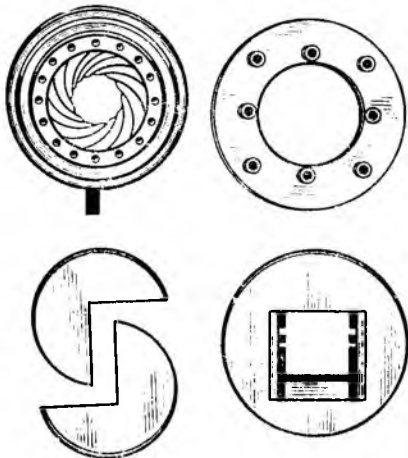
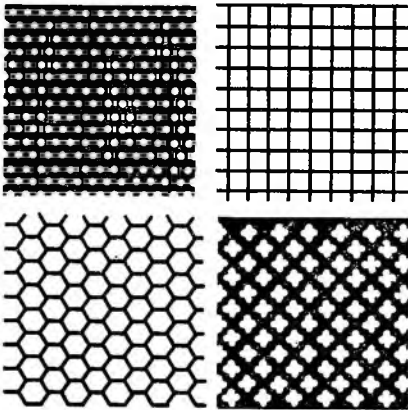
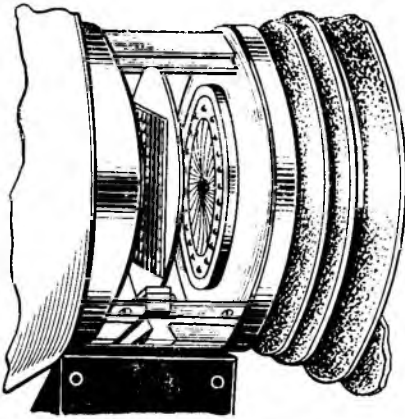
1) одинарные сетки, ослабляющие силу света, и двойные сетки, увеличивающие угол его рассеяния. Сетки натягивают на проволочные или деревянные каркасы;

2) металлические шторки, позволяющие регулировать ширину и высоту светового потока прибора;

3) тубусы, создающие на объекте освещенные площадки различной формы, в частности целевой тубус, применяемый для подсветки глаз портретируемого (рис. 38).

К оптическим устройствам для изменения светотехнических характеристик относятся различные рассеиватели: шелковые сетки, смягчающие световое пятно прожектора и увеличивающие

Рис. 39. Образцы масок



угол рассеяния, стеклянные матированные полосы, увеличивающие угол рассеяния и создающие равномерность освещения. Оптические приставки служат для получения разнообразных по конфигурации пятен света. Они состоят из конденсора, проекционного объектива и необходимой формы маски, устанавливаемых на прожекторах.

На рис. 39 приводятся образцы масок, благодаря которым на предмете можно получить различные цветные рисунки.

Зеркальные приставки позволяют (благодаря повороту зеркала в оправе) направить в пучком направлении световой луч прибора.

Светофильтры различного типа, устанавливаемые на осветительные приборы, создают различные цветовые эффекты или приводят цветовую температуру к той, для которой сбалансирован применяемый цветной фотографический материал.

Большое распространение при производстве различных съемок, как в павильоне, так и на натуре, получили так называемые подсветки, которые применяются для подсвечивания затененных деталей или изменения характера падающего света на отраженный. В качестве таких подсветок применяются щиты с рамами, имеющими отражающую поверхность, и зонты.

В зависимости от световых свойств отражающей поверхности подсветки принято делить: на жесткие, обладающие в основном направленным рассеянием света; средние, в которых преобладает рассеянное отражение, но имеется и направленная составляющая, достаточно сильно влияющая на характер светораспределения светового потока; мягкие с практически диффузным отражением света.

Материалом для изготовления таких подсветок в зависимости от требуемых свойств могут служить: алюминиевая фольга, как с гладкой, так и рифленой поверхностью, белое полотно, фанера, окрашенная в несколько слоев белой краской; двусторонний полихлорвиниловый материал, идущий на изготовление киноэкранов.

### § 13. ОСВЕТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ В ФОТОПАВИЛЬОНАХ

*Комплект напольных осветительных приборов КС-1.* Комплект осветительных приборов обеспечивает возможность получения всех видов света и удобную настройку осветителей на объект съемки.

В состав комплекта входят (рис. 40) следующие приборы.

Два больших софита\* 1 (тип СБ) для создания основного рисующего света. Источник света — лампы накаливания 500 Вт каждая. Софит оснащен тубусом для получения пучка направленного света, рассеивающим экраном и переходным патроном под цоколь Ц27. Рефлектор диаметром 320 мм имеет штормную рамку, поворачивающуюся вокруг его оси. Прибор может поворачиваться вокруг вертикальной оси и наклоняться в горизонтальной плоскости до 70°. Минимальная высота установки рефлектора 1230 мм, максимальная — 2200 мм.

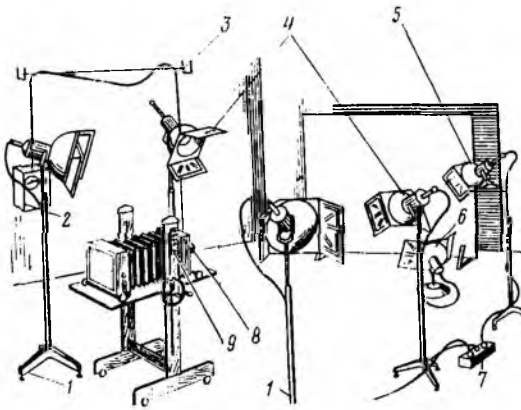
Два малых софита 4 (тип СМ) для создания общего заполняющего и моделирующего света. Источник света — лампы накаливания 300 Вт. Софиты передвижные, регулируются по высоте от 1300 до 2200 мм. Прибор комплектуется рассеивающим экраном. Рефлектор имеет поворотную штормную рамку. Световой пучок регулируется изменением угла раскрытия шторок. Диаметр рефлектора 210 мм; угол наклона 70°; длина шторки 175 мм. Положение источника света регулируемое, ход патрона 80 мм.

Софит контурового света 5 (тип СКС) для создания контурного света. Источник света — лампа накаливания 300 Вт. Софит передвижной, регулируется по высоте от 1400 до 2300 мм. Рефлектор диаметром 210 мм поворотный, угол наклона в вертикальной плоскости 80°. Длина шторок 175 мм. Для устранения

---

\* Софит — многоламповый прибор. Здесь дается принятое, но не точное название однолампового прибора.

Рис. 40. Общий вид комплекта осветительных приборов КС-1



тени от штатива реф-лектор закреплен на расстоянии 280 мм консольно относительно оси штатива. Положение источника света регулируемое, ход патрона 80 мм.

Софит фоново-го света 6 (тип СФ) для освещения фона.

Источник света — лампа накаливания 300 Вт. Софит переносной, регулируется по высоте от 350 до 550 мм. Опора штатива выполнена в виде диска. Софит укомплектован рассеивающим экраном. Рефлектор имеет шторную рамку, поворачивающуюся вокруг его оси. Световой пучок регулируется изменением угла раскрытия шторок. Рефлектор поворачивается вокруг вертикальной плоскости. Угол его наклона от горизонтальной оси вверх  $65^\circ$ , вниз —  $15^\circ$ . Положение источника света регулируемое, ход патрона 60 мм.

Фотозатвор центральный 8 (тип Ф-2к) к павильонным камерам (с выдержками  $1/30$ ;  $1/15$ ;  $1/5$ ; 1 с, Б и Д) с устройством для включения софитов в момент съемки.

Выносной пульт управления 9 (тип ВПУ) устанавливается на штативе фотокамеры.

Пульт распределительный 2 (тип ПУ) с устройством для регулирования напряжения и измерения накала ламп.

Два удлинителя 7 (тип УД) для подключения софитов.

Устройство для подвески кабеля выносного пульта 3.

Рефлекторы софитов, входящих в комплект, изготовлены из алюминиевого листа и имеют параболическую форму и одинаковое конструктивное исполнение. Внутренняя поверхность рефлектора матированная.

Для крепления всех софитов, кроме фонового, используется унифицированный передвижной штатив (рис. 41), который состоит из вертикальной направляющей трубы 12, закрепленной на опоре 11, выполненной в виде треноги, имеющей три самоустанавливающиеся роликовые опоры 10. Внутри трубы 12 располагается трубка с цапгой 7, которая под воздействием пружины 13 фиксирует положение вертикальной штанги 6 по высоте. При нажиме на педаль цапга приподнимается и освобождает вертикальную штангу 6, что дает возможность установить рефлектор

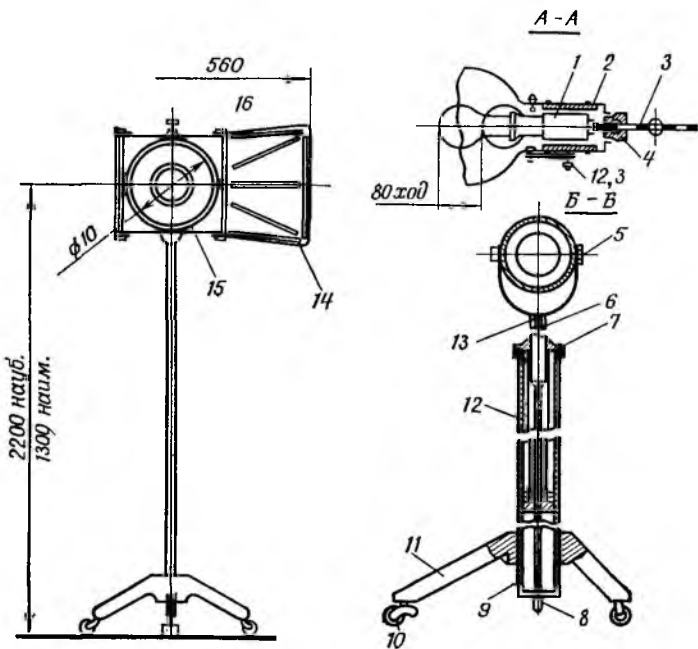


Рис. 41. Софит со штативом:

1 — патрон; 2 — направляющие; 3 — трубка; 4 — зажимное устройство; 5 — ось; 6 — вертикальная штанга; 7 — цапга; 8 — гайка; 9 — пружина; 10 — роликовая опора; 11 — опора; 12 — труба; 13 — пружина; 14 — поворотные шторки; 15 — шторная рамка; 16 — фрикционное устройство

на необходимую высоту. При освобождении педали цапга под действием пружины 13 вновь закрепляет трубу рефлектора.

Хотя комплект напольного осветительного оборудования позволяет производить достаточно качественно павильонную фотосъемку, он не дает возможности изменить десятилетиями сложившуюся схему организации использования площади в съемочном павильоне. Эта система с ее тянущимися по полу съемочного павильона проводами не позволяет фотографу в короткий срок повернуть все осветительные приборы в нужную для съемки сторону. Фотографу легче в данных условиях переместить мебель, чем переносить осветительные приборы. Поэтому павильон и оснащается только самым необходимым оборудованием: стул, несколько скамеек и разновысоких тумб, банкетки, стол для фотографирования детей.

*Комплект подвесного осветительного оборудования.* Оснащение съемочных павильонов подвесным осветительным оборудованием позволяет совершенно по-новому использовать всю площадь павильона — организовать три-четыре съемочных зоны: съемка

детей, портретирование взрослых, съемка групп, создание интерьеров на различные темы и т. п.

Потолочную координатную систему освещения ПСО-1, предназначенную для установки освещения при всех видах съемочных работ в фотопавильоне, разработал НИТХИБ.

Осветительную подвесную аппаратуру АПФ-1 для фотопавильонов выпускает киевский завод «Кинап». Аппаратура представляет собой укрепленные под потолком подвесные пути, по которым легко передвигаются траверсы с закрепленными на них осветительными приборами. Передвижение приборов и траверс производится вручную.

Подвесные пути состоят из отдельных секций каждая длиной по 2 м. Секции легко соединяются между собой при монтаже на местах.

На каждом из подвесных путей устанавливаются по пять подвижных траверс, которые перемещаются по подвесным путям на тележках. На каждой траверсе монтируется подвижная телескопическая трубчатая подвеска с укрепленным на ней светильником, который легко перемещается в горизонтальной и вертикальной плоскостях и устанавливается в необходимом положении без дополнительной фиксации. Система креплений подвижных осветительных приборов и конструкций подвесок и траверс унифицирована и допускает легкую замену осветительных приборов. Светильники заполняющего света неподвижно закреплены на траверсах. Установка комплектуется следующими осветительными приборами:

для рисующего света — два осветительных прибора «Свет-500» с кварцевыми галогенными лампами мощностью 500 Вт;

для фонового света — четыре линзовых кинопроектора КПЛ-10М с лампой накаливания мощностью 150 Вт;

для контрольного и моделирующего света — четыре осветительных прибора СМ с лампами мощностью 300 Вт;

для заполняющего света — 26 осветительных приборов ФО-4 с лампами накаливания мощностью 100 Вт при напряжении 220 В.

Лампы осветительных приборов включают на центральном пульте управления, причем все осветительные приборы включаются индивидуально. Светильники заполняющего света включаются группами, отдельно по каждой траверсе. На центральном пульте управления установлены индивидуальные регуляторы напряжения передвижных осветительных приборов.

Для дистанционного включения осветительных приборов с разных точек павильона в конструкции системы предусмотрен выносной пульт управления с напряжением в 36 В. В системе предусмотрена установка электроизмерительных приборов для определения действительного напряжения на передвигаемых осветительных приборах.

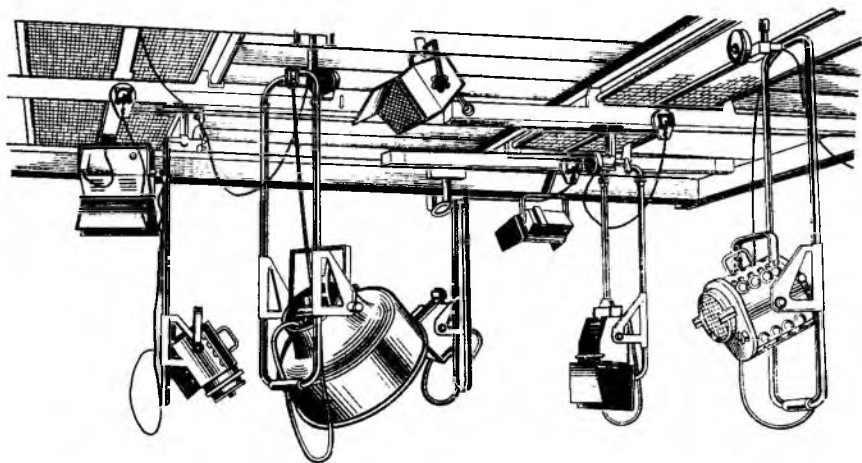


Рис. 42. Подвесная осветительная система марки К-128

Система рассчитана на использование в фотопавильонах с высотой монтажного потолка 3,2 м независимо от действительной высоты потолка.

Большой интерес представляет троллейная система освещения К-128 чехословацкого кооператива «Делба». Общий вид ее дан на рис. 42. Осветительная система имеет приятный внешний вид и несколько отличается от системы АПФ-1 по конструктивному решению.

Вертикальная подвеска системы выполнена в виде двух параллельных труб (тип «Тромбон»), по которым могут передвигаться вверх и вниз рефлекторы. Лампы получают питание от троллейной системы, укрепленной под потолком. В качестве осветительного прибора рисующего света используются рефлекторы с тремя лампами, которые дают мягкий, рассеянный свет. Система пригодна для установки в любом помещении, размеры которого соответствуют проводимым работам, а установка монтажного потолка должна иметь высоту 3,4 м.

Система комплектуется следующими осветительными приборами: киносьемочный прожектор («Молле») — 500 Вт; киносьемочный прожектор («Молле») — 1000 Вт; смягчающий трехламповый рефлектор («Нитра») — 1500 Вт; одноламповый открытый рефлектор («Нитра») — 500 Вт; рефлектор с галогенной лампой накаливания — 1000 Вт; фокусирующий рефлектор с галогенной лампой накаливания — 800 Вт.

Каждый прибор имеет возможность вращения вокруг своей вертикальной оси и в горизонтальной плоскости.

Продольное и поперечное движение источников света производится вручную.

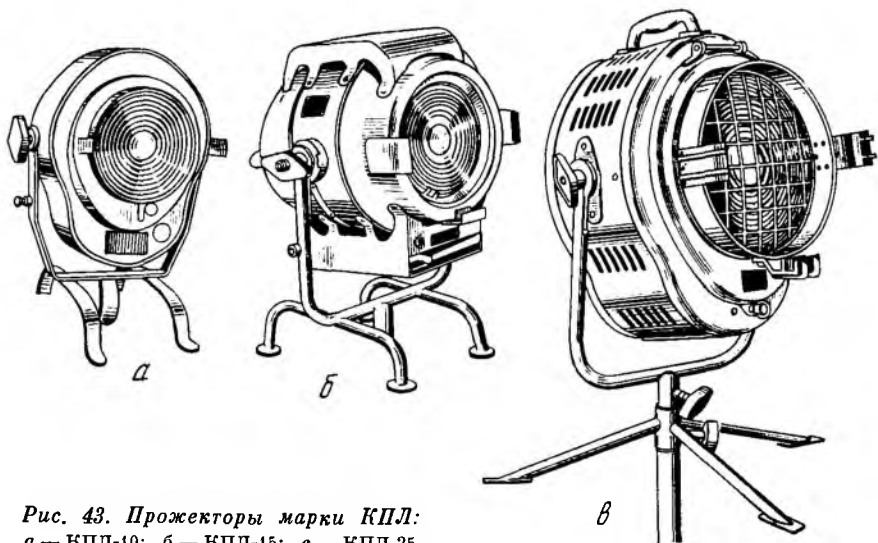


Рис. 43. Проекторы марки КПЛ:  
 а — КПЛ-10; б — КПЛ-15; в — КПЛ-25

Включение и выключение источников света, а также регулировка напряжения производятся с нуля управления, укрепленного на штативе фотокамеры, т. е. с рабочего места фотографа.

*Неполное осветительное оборудование.* Наряду с приведенными выше комплектами осветительного оборудования выпускается целый ряд осветительных приборов, применяемых в фотопавильонах. Рассмотрим некоторые из них.

В условиях фотостудии используют кинопроекторы типа КПЛ. Такие кинопроекторы с лампой мощностью от 0,15 до 2 кВт работают не только с линзой Френеля, но и с рассеивателями из арказоля, марли и стеклоткани.

Характеристики трех марок проекторов приведены в табл. 13, а общий вид — на рис. 43.

Конструктивно приборы оформлены одинаково и состоят из барабана, оправы с линзой, ламподержателя, контротражателя, механизма для фокусировки лампы и лиры. Охлаждение естественное. Оправы проекторов приспособлены для установки в них фильтров, рассеивателей, крепления шторок и других приспособлений.

Приборы можно устанавливать как на штативах, так и на подвесных штангах.

При павильонных съемках часто применяют зеркальные лампы с приборами типа ОПЗ. Приборы могут работать как при номинальном, так и при повышенном напряжении. При этом, если поднять напряжение от номинала 127 В до 180 В, то мощность прибора возрастет до 810 Вт, а максимальная сила света и световой поток увеличатся более чем в 2,6 раза, световая отдача —



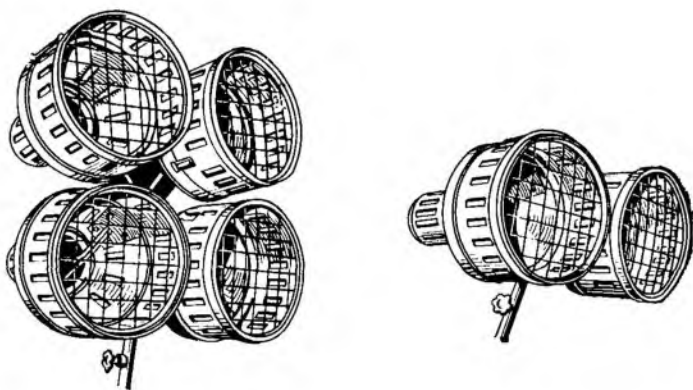


Рис. 44. Осветительные приборы марки ОПЗ

в 1,5 раза, но срок службы лампы при этом уменьшится до 12 ч вместо 750. Осветительные приборы с этими лампами выпускаются двух типов — ОПЗ-2 и ОПЗ-4 (двух- и четырехламповые); их технические характеристики приведены в табл. 14, а общий вид — на рис. 44.

Таблица 13

Основная техническая характеристика прожекторов типа КПЛ

Тип прожектора	Диаметр линзы Френеля, см	Мощность лампы КПЖ в приборе, Вт	Лампа в фокусе (узкий круг)		Лампа предельно расфокусированная (широкий круг)			Размеры прибора, мм			Масса прибора, кг
			Осевая (максимальная) сила света, кд	Угол рассеяния ( $2\alpha$ ), град	Осевая сила света, кд	Максимальная сила света, кд	Угол рассеяния ( $2\alpha$ ), град	высота	длина	ширина	
КПЛ-10	10	150	25 000	12	3 000	3 000	46	300	190	200	3
КПЛ-15 (бэби)	15	500	85 000	9	9 000	9 000	43	380	305	300	4,5
КПЛ-25	25	2000	300 000	11	30 000	31 000	47	800	610	480	24

Благодаря легкому алюминиевому каркасу приборы имеют небольшие размеры и массу (4 и 7 кг). Каждая лампа защищена металлической сеткой, предохраняющей от осколков при взрыве лампы, который происходит особенно часто при работе на перекальном режиме.

Для работы фотографов на выезде, для производства различных репортажных съемок применяется компактный осветитель-

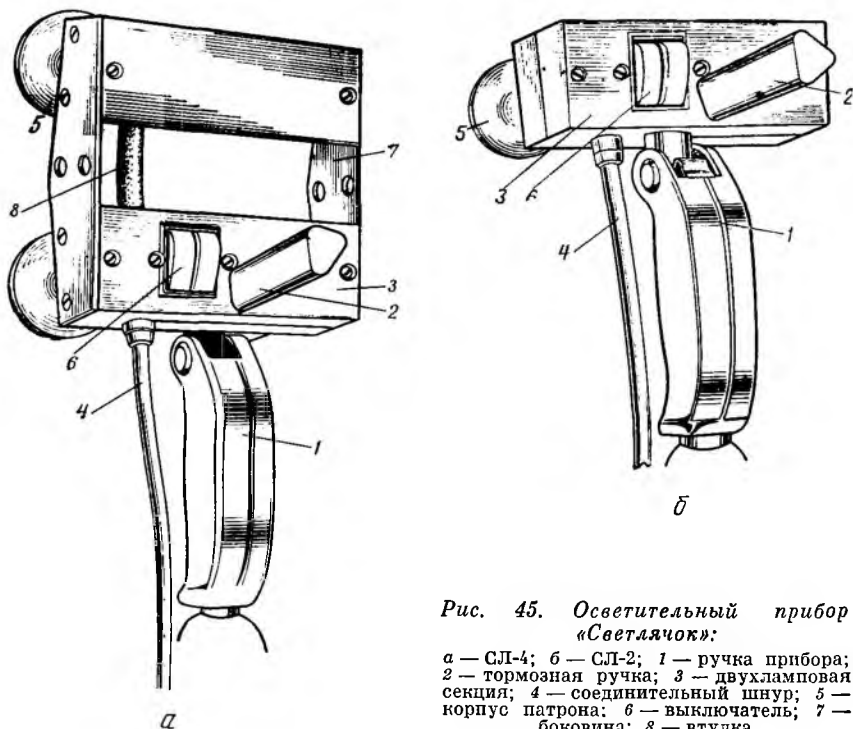


Рис. 45. Осветительный прибор «Светлячок»:

а — СЛ-4; б — СЛ-2; 1 — ручка прибора; 2 — тормозная ручка; 3 — двухламповая секция; 4 — соединительный шнур; 5 — корпус патрона; 6 — выключатель; 7 — боковина; 8 — втулка

ный прибор с малогабаритными зеркальными лампами «Светлячок», выпускаемый в двух модификациях — СЛ-2 — двухламповый и СЛ-4 — четырехламповый (рис. 45).

В качестве источника света в них применяются малогабаритные зеркальные лампы РН-220-500-2 или РН-220-300-2.

Таблица 14  
Основная техническая характеристика приборов типа ОПЗ

Тип прибора	Напряжение, В	Сила тока, А	Мощность, Вт	Максимальная сила света, кд	Световой поток, лм	Угол рассеяния, град
ОПЗ-2	127	7,38	940	8 720	15 000	150
	180	9,0	1620	25 120	39 200	150
	205	9,75	2000	35 200	56 900	150
ОПЗ-4	127	15,2	1930	14 880	30 000	155
	180	18,2	3280	39 050	68 500	155
	205	19,2	4000	56 120	113 800	155

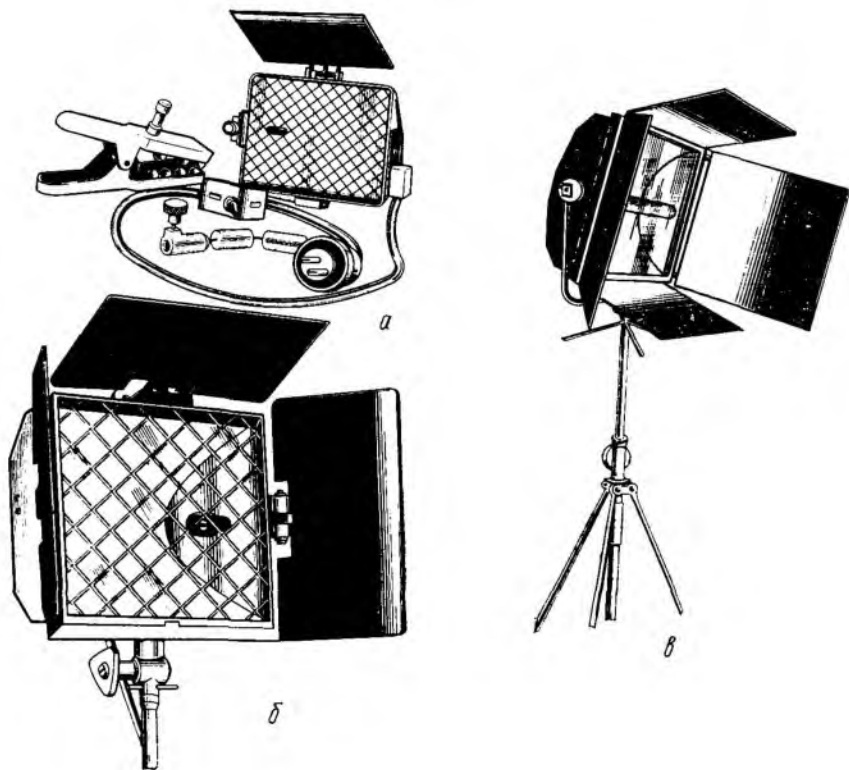


Рис. 46. Осветительные приборы марки «Свет»:  
 а — «Свет-500»; б — «Свет-1000»; в — «Свет-2000»

Прибор СЛ-2 выполнен в виде одной двухламповой секции, СЛ-4 — в виде двух двухламповых секций, соединенных двумя боковинами. Приборы снабжены удобной ручкой для переноски и работы с руки. В комплект каждого прибора входит переходник ШМ для работы со штатива. Масса прибора СЛ-2 — 0,8 кг; СЛ-4 — 1 кг.

Все большее применение получают светильники с йодными лампами. Такие приборы используются для теле- и киносъемок, в фотопавильонах и при различных репортажных работах.

Приборы имеют дополнительные съемные элементы: рамки для рассеивателя и светофильтра, четырех- или двухлопастные шторки, рукоятку для удобства работы с рук, устройство для установки их на разных опорах. Выключатель смонтирован на несъемной части провода.

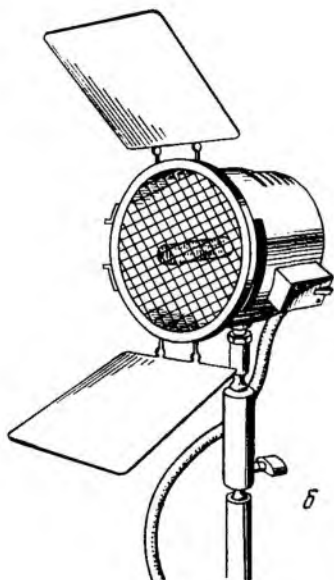
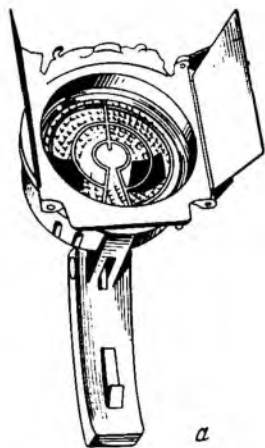


Рис. 47. Осветительные приборы марки «Луч»: а — «Луч-300»; б — «Луч-500»

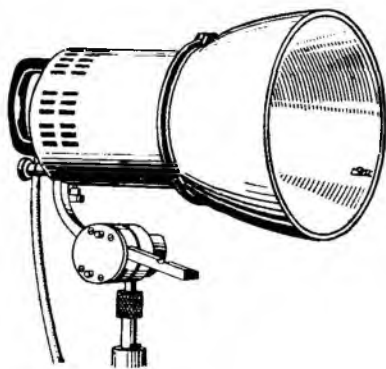


Рис. 48. Осветительный прибор фирмы «Бронколор»

Удобны для производства фоторабот приборы с моноспиральными кварцевыми галогенными лампами типа «Свет» мощностью от 500 до 2000 Вт. Техническая характеристика их приведена в табл. 15, а общий вид показан на рис. 46. Эти приборы дают направленное-рассеянное освещение и используются, когда необходимо получить равномерное освещение больших площадей, осветить поверхности, находящиеся в тени, для создания необходимого баланса между теневыми и светлыми участками снимаемого объекта.

Большой интерес представляют приборы направленного света типа кинопржекторов с йодными биспиральными лампами — «Луч-300» и «Луч-500». Техническая характеристика их дана в табл. 15, а общий вид показан на рис. 47.

При некоторых видах павильонной съемки (съемка детей на фотопленках типа ЦНД), при выездной съемке (места бракосоче-

Основная техническая характеристика приборов типа «Свет» и «Луч»

Тип прибора	Источник света	Мощность источника света, Вт	Осевая сила света, кд	Угол рассеяния, без рассеивателя ( $2\alpha$ ), град		Напряжение от сети переменного или постоянного тока, В	Размеры, мм			Масса прибора, кг
				горизонтальный	вертикальный		ширина	высота	глубина	
«Свет-500»	КИ-220-500-1	500	600	Не менее 75	Не менее 55	220	235	155	100	0,8
«Свет-1000»	КИ-110-1000 КИ-220-1000-2	} 1000	15 000	То же	Не менее 65	110 220	390	260	135	1,9
«Свет-2000»	КГ-110-2000 КИ-220-2000-3	} 2000	25 000	75	55	110 220	410	390	120	3,5
«Луч-300»	КИМ 30-300	300	2 500	45	45	127—220 через понижающий трансформатор до 30 В	104	208	102	Прибор — 0,47 трансформатор — 5,2
«Луч-500»	КИМ 110-500	500	2500 — при узком луче, 10 000 — при широком луче	25	25	220, 110	150	170	140	1,5

таний, банкеты и т. п.) нередко применяют импульсные газоразрядные лампы, создающие направленный мощный поток света.

Угол рассеяния света таких осветителей равен 50—60°. Наилучшие условия освещения создаются на расстоянии 2—3 м. Как правило, для съемки лучше всего использовать одновременно несколько приборов, так как один источник дает плоское и контрастное изображение.

Интересны по своей конструкции универсальные светильники, выпускаемые фирмой «Бронколор» (рис. 48). Они оснащены импульсной лампой-вспышкой и лампой установочного света (галогенная 250, 650 Вт или криптоновая 100 Вт), а также приспособлением для регулировки угла светового луча. При таком оснащении импульсный осветитель может выполнять функции источника света любого вида (заполняющего, рисующего, моделирующего, контурного, фонового).

Таблица 16

Основная характеристика импульсных источников света

Тип импульсного осветителя	Ведущее число для пленки «Фото-65»	Энергия вспышки, Дж	Длительность вспышки, с (по паспорту)	Питание
«Фотон»	24	30	1/1250	Переменный ток 50 Гц 220 В
«Чайка»	По калькулятору	36	1/2000	Переменный ток 50 Гц 220 В или 2 батареи типа 3336Л, или 3336У
СЭФ-3	17	36	—	Переменный ток 50 Гц 220 В
ФИЛ-41М	16	36	1/400	Переменный ток 50 Гц 220 В или постоянный от аккумулятора 300 В
ФИЛ-101 при угле освещения:				
85°	16	68	1/1000	То же
30°	25	68	1/1000	
ФИЛ-102 при угле освещения:				
85°	16	68	1/1000	»
30°	25	68		
(в комплект входят два осветителя — основной и дополнительный)				
ЛУЧ-70	31	100	1/500	»
	22	50	1/1000	

Основными характеристиками импульсного газоразрядного осветителя являются энергия вспышки (выражаемая в джоулях), ведущее число для фотопленки определенной чувствительности, длительность вспышки. Источником электроэнергии могут быть различные батареи постоянного тока, аккумуляторы и переменный ток.

Основные данные отечественных импульсных осветительных приборов даны в табл. 16.

## Глава III. СВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Существуют два метода световых измерений: субъективный, в котором приемником света служит человеческий глаз, и объективный, когда в качестве приемников световой энергии служат различные приборы (фотоэлементы, фотосопротивления и т. д.).

### § 14. СУБЪЕКТИВНЫЙ МЕТОД СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В основе субъективного метода лежит способность глаза определять равенство яркостей двух соприкасающихся поверхностей, которое устанавливается с тем большей точностью, чем меньше по цвету отличается одна поверхность от другой.

Определяя достаточно точно равенство яркостей, глаз очень приближенно может установить, во сколько яркость одной поверхности больше или меньше яркости другой. Следовательно, для проведения световых измерений таким методом необходимо использовать различные эталоны: силу света, светового потока, цветовой температуры и т. п.

Эталоны, используемые для этих целей, подразделяются:

- 1) на рабочие, служащие для проведения измерений, не требующих большой точности;
- 2) поверочные, с помощью которых производятся периодические проверки рабочих эталонов;
- 3) эталоны-свидетели, служащие для проверки поверочных эталонов.

Для рабочих эталонов обычно применяют нормальные осветительные лампы, у которых с достаточной точностью определена одна из светотехнических характеристик: сила света в определенном направлении, световой поток, цветовая температура и т. д. При производстве работ с такими эталонами обязательно соблюдение постоянства режима их работы (напряжение, ток).

Используя способность глаза устанавливать равенство яркостей и применяя эталонированные источники света, были созданы различные приборы для определения светотехнических характеристик.

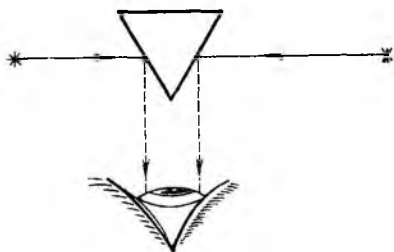
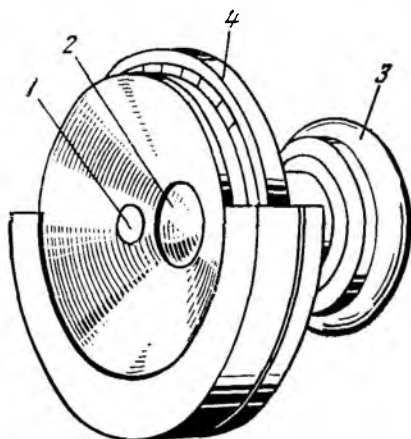


Рис. 49. Призма, на гранях которой достигается равенство яркостей

Рис. 50. Прибор ИЦТ:

1 — синий светофильтр; 2 — белое молочное стекло; 3 — окуляр с красным светофильтром; 4 — круговой ступенчатый клин с нанесенными на него шкалами Т, К и СК

Рис. 51. Схема субъективного прибора для измерения цветовой температуры



Простейшим устройством, позволяющим получать соприкасающиеся поля, является трехгранная призма, две грани которой освещаются различными источниками света (рис. 49).

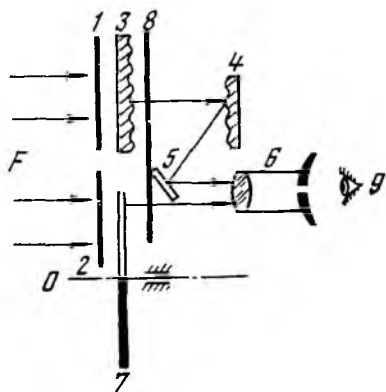
Изменяя расстояние до призмы или изменяя яркость источника, можно добиться одинаковой яркости обеих граней.

Зная светотехнические характеристики рабочего эталона, можно, используя такой прибор, определить характеристики испытуемого источника.

На принципе визуального сравнения яркостей построена работа оптического экспонометра, который наводится на снимаемый объект и на шкале из ряда различных по яркости цифр выбирают наиболее слабую. Эта цифра принимается за критерий, с помощью которого по калькулятору прибора определяют экспозицию.

Точность показаний такого экспонометра является относительной, так как в измерениях участвует глаз, обладающий небольшим постоянством свойств.

Субъективный метод применяется также в приборах для





измерения цветовой температуры, которые основаны на измерении так называемого красно-синего отношения.

Такой прибор показан на рис. 50 и 51.

Лучи светового потока падают на два окна прибора, в которых установлены синий светофильтр 1 и молочное стекло 2. Синие лучи возбуждают свечение слоя специального люминофора 3, который начинает светиться красным светом. Излучаемые этим слоем лучи, отражаясь от белой матовой пластинки 4, попадают на зеркало 5 и оттуда в окуляр 6 через красный светофильтр 8. Другая часть светового потока, прошедшая через молочное стекло 2, идет в окуляр через вращающийся у оси  $O$  оптический клин 7 и красный светофильтр 8.

Яркость обеих полей окуляра 6 (одноцветных из-за прохождения через один и тот же красный светофильтр 8) благодаря разному коэффициенту пропускания нейтрального клина 7 можно уравнивать, поворачивая клин, шкала которого проградуирована в значениях цветовой температуры.

Точность световых измерений с помощью визуальных приборов зависит от многих факторов. На нее влияют различная чувствительность глаза и непостоянство ее у разных наблюдателей, разница в спектральном составе излучения испытуемой и эталонной лампы и т. д. Точность определения на практике на таких приборах может иметь колебания до 10%.

Для устранения влияния индивидуальных свойств глаза на светотехнические измерения, для получения большей точности их и упрощения самих процессов применяются способы объективной (физической) фотометрии.

## § 15. ОБЪЕКТИВНЫЙ МЕТОД СВЕТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Приемником измеряемой лучистой энергии при данном методе служат специальные приборы — фотоэлемент, фоторезистор и т. д. Такие приборы должны иметь спектральную чувствительность, близкую к чувствительности глаза.

На рис. 52 даны кривые спектральной чувствительности селенового фотоэлемента 1 и глаза 2, по которым видно, что кривая спектральной чувствительности фотоэлемента перекрывает в коротковолновой зоне чувствительность глаза. Чтобы сделать их идентичными, перед таким фотоэлементом нужно установить желто-зеленый светофильтр, который задержит часть лучей в коротковолновой зоне и выравнивает характер кривой видности.

Работа таких приборов основана на том, что под действием падающего на приемник света (при использовании селенового фотоэлемента) вырабатывается электрический ток, величина которого прямо пропорциональна силе падающего на приемник светового потока и измеряется прибором, включенным в цепь. При

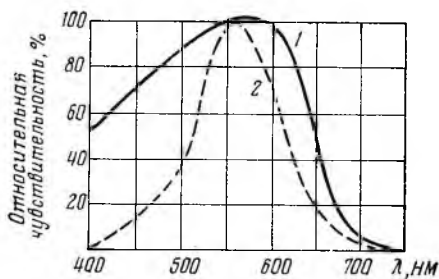


Рис. 52. Кривые спектральной чувствительности селенового фотоэлемента 1 и глаза 2

применении фоторезисторов, которые под действием света изменяют свое сопротивление в цепи, кроме прибора, должен быть включен соответствующий источник тока.

Шкалы таких приборов в зависимости от их назначения градуируются в фотометрических единицах (люксметр) или привязываются непосредственно к калькулятору, указывающему величину выдержки при соответствующей величине действующего отверстия объектива (экспонетры).

Фотографу чаще всего приходится пользоваться экспонометрами для измерения освещенности или яркости объектов.

В современных фотоаппаратах применяются экспонометрические устройства, измеряющие освещенность кадрового окна фотокамеры. Таким образом учитываются потери света при прохождении его через объектив, исключается влияние на точность измерения освещенности объектов, не попадающих в кадр.

При использовании экспонометра с калькулятором для определения экспозиции могут применяться три метода измерения.

1. Измерение освещенности. Экспонометр располагается у объекта съемки, фотоэлемент направлен на источник света, освещающий снимаемый объект.

2. Измерение яркости нейтрально-серой шкалы, расположенной у объекта съемки.

3. Измерение интегральной яркости снимаемого объекта.

С помощью фотоэлектрического экспонометра или люксметра можно также производить и измерение цветовой температуры. Для этого перед фотоэлементом устанавливают поочередно красный и синий светофильтры и замечают оба показания прибора, а затем по отношению этих показаний определяют цветовую температуру.

*Определение цветовой температуры по красно-синему отношению*

Красно-синее отношение	Цветовая температура $T_{цв}$ , К	Красно-синее отношение	Цветовая температура $T_{цв}$ , К
1202	1000	5,4	2600
279	1200	4,2	2800
48	1400	3,4	3000
34	1600	2,7	3250
24,2	1800	2,26	3500
14,9	2000	1,91	3750
10,0	2200	1,6	4000
7,1	2400	0,95	5500

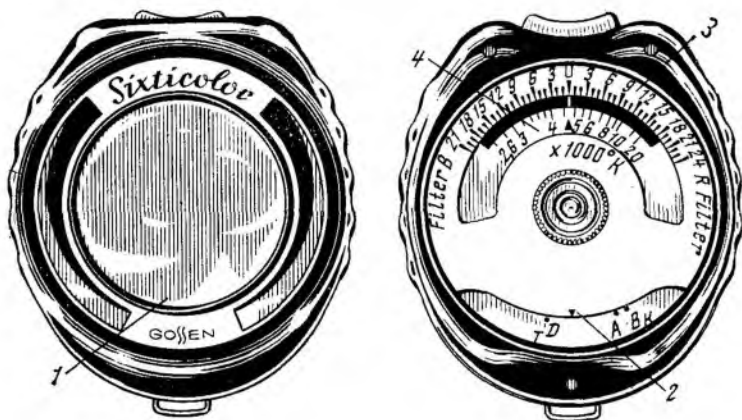


Рис. 53. Прибор «Сикстиколор» для определения цветовой температуры

Имеются также фотоэлектрические приборы, которые не требуют двух измерений и расчетов; их шкала проградуирована непосредственно в значениях цветовой температуры. Примером такого прибора является прибор «Сикстиколор» (рис. 53), выпущенный фирмой «Хассельблад», с комплектом светоуравновешивающих фильтров. Молочное стекло 1 прибора направляется в сторону источника света. Индекс 2 на шкале прибора ставится на значение применяемой для съемки цветной пленки (для ламп накаливания или для дневного света), а стрелка на шкале 3 показывает, какой светофильтр нужно применить при съемке, чтобы спектральный состав света, падающего на фотопленку, соответствовал спектральной чувствительности, а на шкале 4 указана цветовая температура используемого источника света.

## Глава IV. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ

### § 16. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Освещение может быть общим равномерным, общим локализованным (выполненным с учетом расположения рабочих мест) или комбинированным, состоящим из общего освещения и местного освещения рабочих поверхностей. Устройство в помещениях только местного освещения запрещено.

При освещении помещений или определенного объекта необходимо создать наилучшие условия видения для обслуживающего процесс персонала или живущих в помещении людей.

## Светотехнические нормы освещенности

Наименование помещений	Наименьшая освещенность, лк		Плоскость, для которой нормируется освещенность, ее высота от пола, м	Наибольшие допустимые значения	
	при газо-разрядных лампах	при лампах накаливания		показателя дискомфорта М	коэффициента пульсации К <sub>п</sub> , %
Канторы, кабинеты, комнаты для занятий	300	(150)	Г — 0,8	40	10
Конструкторские, чертежные, копировальные бюро	500	(300)	Г — 0,8	40	10
Читальный зал	300	(150)	Г — 0,8	40	10
Конференц-зал	200	(100)	Г — 0,0	60	15
Киноаппаратная, щитовая и регулировочная сцены	75	(30)	Г — 0,8	40	20
Светокопировальная мастерская	200	(100)	Г — 0,8	40	20
Переплетная мастерская	200	(100)	Г — 0,8	40	20
Отделы микрофотографирования и электрографирования	200	(100)	Г — 0,8	40	20
Помещение для отдыха	150	(75)	Г — 0,8	60	20
Помещения общественных организаций	200	(100)	Г — 0,8	40	15
Фойе	150	(75)	Г — 0,0	60	—
Выставочные залы	200	(100)	Г — 0,0	60	—
Классные комнаты, учебные кабинеты, лаборатории:					
на доске	300	(200)	В — на доске	40	10
на рабочих столах	300	(200)	Г — 0,8	40	10
Кабинеты чертежные и изобразительного искусства:					
на доске	300	(200)	В — на доске	40	10
на рабочих столах	500	(300)	Г — 0,8	40	10
Групповые, игральные, столовые и т. п. помещения в дошкольных учреждениях	200	(100)	Г — 0,5	40	10
Актный зал, киноаудитория	200	(100)	Г — 0,0	60	20
Обеденные залы на предприятиях общественного питания	200	(100)	Г — 0,8	60	—
Универмаги, продовольственные магазины, торговые залы	300	(150)	Г — 0,8	60	20
Демонстрационные залы	300	(150)	Г — 0,8	60	20
			В — 1,5		
Салон приема и выдачи заказов	200	(100)	Г — 0,8	40	20
Парикмахерские	200	(100)	В — 1,0	40	15
Съемочный зал, фотоателье	100	(50)	Г — 0,8	—	20
Фотолаборатория	200	(100)	Г — 0,8	40	20

Примечания: 1. В скобках указана освещенность от источников света, применение которых не рекомендуется (лампы накаливания). Их можно считать временно допускаемыми. Буквы Г и В обозначают соответственно горизонтальную и вертикальную поверхности.

2. Коэффициент запаса для всех помещений принимается равным 1,3 при освещении лампами накаливания и 1,5 — при люминесцентных лампах.

Основные требования к хорошему освещению выражаются:

- а) в необходимой величине освещенности рабочих поверхностей;
- б) достаточной равномерности освещения;
- в) постоянстве освещенности по времени;
- г) требуемом спектральном составе света;
- д) правильном выявлении формы освещенных предметов;
- е) отсутствии в поле зрения светящихся предметов, обладающих большой блестястью;
- ж) дешевизне осветительного устройства.

## § 17. НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ

Фотографу, производящему фотосъемку, необходимо знать нормы освещенности в различных условиях, так как при проведении фотосъемок он должен учитывать уже имеющиеся уровни освещенности объектов съемки.

В табл. 17 приведены светотехнические нормы освещенности для помещений общественных зданий и бытовых корпусов промышленных предприятий.

В своей книге «Светотехника киносъемки» Е. М. Голдовский приводит данные о рекомендуемых средних освещенностях фасадов зданий и архитектурных сооружений, создаваемых источниками искусственного освещения. Эти данные интересны не только для операторов, но и для фотографов, занимающихся натурной съемкой. Они приведены в табл. 18.

Таблица 18

*Средняя освещенность фасадов зданий и архитектурных сооружений в зависимости от материала*

Характеристика освещаемой поверхности	Коэффициент отражения	Средняя вертикальная освещенность при яркости окружающего фона, лк		
		$B < 1 \text{ кд/м}^2$	$B = 1 \text{ кд/м}^2$	$B > 5 \text{ кд/м}^2$
Белые мраморные изразцы, штукатурка	Больше 0,6	20	30	50
Светло-серая штукатурка, белый кирпич, светлый бетон	0,45—0,60	30	50	75
Серая окраска, цветные плитки, плита бутовая, известняк	0,30—0,45	50	75	100
Темно-серая окраска, кирпич, потемневшее дерево, гранит темный	0,15—0,30	75	100	150
Темная окраска, шифер	Меньше 0,15	100	150	200

*Нормы средней горизонтальной освещенности  
для некоторых городских, поселковых и сельских  
территорий*

Освещаемые объекты	Освещен- ность, лк
<i>Города и поселки</i>	
Непроезжие части площадей	10
Тротуары	2—4
Пешеходные мостики	10
Дорожки бульваров и скверов	2—6
Прогулочные дорожки	1
<i>Сельские населенные пункты</i>	
Площади общественных и торговых цент- ров	4
Поселковые улицы:	
с асфальтобетонными покрытиями	4
с покрытиями простейшего типа	2
Поселковые дороги	2

## § 18. ОСВЕЩЕНИЕ РАБОЧИХ МЕСТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Не всегда указанные нормы освещенности могут удовлетворить фотографа или оператора при производстве фото- и киносъемочных работ, но учет имеющегося характера освещенности снимаемого объекта позволит более точно установить экспозицию при съемке и поможет создать нужный эффект освещения.

К освещению при фото- и киносъемочных работах предъявляются следующие условия.

1. Освещенность снимаемого объекта должна быть настолько высокой, чтобы обеспечить необходимую экспозицию для используемого съемочного материала.

2. Спектральный состав света должен соответствовать спектральной чувствительности фото- и киноплёнки.

3. Освещение должно носить такой характер, чтобы выявить основные особенности фотографируемого объекта.

При этом каждый фотограф имеет свой индивидуальный стиль работы, свою схему расположения осветительного оборудования, свою манеру светового письма, и искусство его заключается в умении осветить объект съемки так, чтобы создать художественный образ.

4. Блесткость светильников и поверхностей, находящихся в поле зрения портретируемого, должна быть по возможности уменьшена.

5. Уровень освещенности в процессе фотографирования должен быть постоянным (имеется в виду перепад напряжения в процессе съемки), так как его изменение отрицательно влияет на качество фотографического изображения, особенно при использовании цветных фотоматериалов.

## Глава V. ЦВЕТ

### § 19. ХАРАКТЕРИСТИКА ЦВЕТА

Человек в процессе жизнедеятельности постоянно пользуется способностью глаз давать изображение окружающего его мира. И это изображение для огромного большинства людей является многоцветным.

Цвет в жизни людей имеет огромное значение, так как благодаря ему человек получает большое количество информации, которую невозможно получить через другие органы чувств.

Глаз человека в процессе эволюции приспособился к восприятию электромагнитных излучений в пределах 380—760 нм. Таким образом, цвет в широком понимании этого слова имеет как бы две составляющие — физическую природу света и физиологический прибор — глаз, воспринимающий и преобразующий электромагнитные колебания в сигналы, посредством которых мозг воспринимает картины внешнего мира.

Следовательно, правильное и глубокое понимание цветовых явлений в природе, использования цвета в фотографии, кино, полиграфии, телевидении и в других областях человеческой деятельности затруднено без знания физических основ — света и связанного с ним цвета и физиологических основ — аппарата зрения.

Глаз — один из органов чувств человека. Зрение среди прочих ощущений занимает первое место. Посредством глаза человек воспринимает почти  $\frac{9}{10}$  всей информации, поступающей в мозг. В процессе эволюции глаз человека приспособился ощущать в определенных пределах лучистую энергию, называемую светом. Возбуждение светом светочувствительных элементов глаза и следующее за этим преобразование сигналов в зрительных отделах коры больших полушарий приводят к возникновению восприятия образа внешнего мира. Однако у разных людей при наличии одних и тех же возбудителей восприятие света (как следствие — и цвета) несколько различается. И даже у одного человека реакция может меняться, например под влиянием других органов чувств. Поэтому наука о зрительном восприятии делится на три основных раздела: физический, психофизиологический и психологический.

*Зрительное восприятие с физической точки зрения.* Сюда относятся прежде всего характеристики источников света и тех объектов и веществ, которые могут изменить свет источника. Эти характеристики могут быть определены и выражены чисто физическими методами независимо от того, виден свет или нет. Физические методы позволяют определить качество света как таковое, не прибегая к помощи наблюдателя, позволяют установить идентичность или отличительные свойства, например, двух лучей. Но

этими методами нельзя установить, как будут выглядеть эти два луча.

Часть материала о физической природе и источниках света, о параметрах, которые влияют на некоторые ее характеристики, была приведена в гл. I.

*Зрительное восприятие с психофизиологической точки зрения.* Сюда относятся реакции зрительного механизма в данных конкретных условиях. Поскольку даже в сравнительно простых ситуациях зрительные восприятия у разных людей не совсем совпадают, то для более точных выражений количественных характеристик зрительных реакций ученые разработали показатели «стандартного наблюдателя», обладающего «средним нормальным» зрением. Восприятие света, в частности так называемые кривые цветовоспринимающих элементов глаза и другие характеристики, приводятся обычно из усредненных значений на основе измерений, проведенных на тысячах людей. В настоящее время психофизиология ограничена оценкой световых лучей по отношению к данным «стандартного наблюдателя». С достаточной точностью может быть выполнен цветовой подбор для «стандартного наблюдателя», т. е. можно определить, будут ли два луча выглядеть одинаково.

*Зрительное восприятие с психологической точки зрения.* Здесь прежде всего рассматриваются вопросы, связанные с разнообразными возможностями влияния света на сознание, роль цвета в жизни человека, влияние различных внешних и внутренних раздражителей на восприятие света, эстетические свойства цвета и цветовой гармонии. Психология цвета — это исследование зависимости между цветом, рассчитанным для стандартного наблюдателя, и цветом, воспринимаемым в действительности с учетом внимания, ощущений, отношения наблюдателя к воспринимаемому объекту, т. е. тех факторов, которые исключаются при психофизиологических расчетах. Это определение включает в себя те влияния, которые оказывают на восприятие условия наблюдения, не учитывающиеся в том случае, когда глаз рассматривается как некоторый идеальный приемник. Граница между психофизиологическим и психологическим восприятием проходит там, где наблюдатель при намеренном внимании обнаруживает, что его реакция изменяется под влиянием его отношения к восприятию.

Учет этих влияний помогает и живописцу, и фотографу при выборе границ картины или цветного фотокадра, при определении наиболее подходящих технических средств в процессе создания произведений, а также условий их экспонирования перед зрителями.

Решение ряда вопросов в цветной фотографии, таких как сочетание цветов, колорит, особенно в жанре портретной фотографии, невозможно без глубокого учета восприятия с психологической точки зрения.



## § 20. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦВЕТА

«...Материя, действуя на наши органы чувств, производит ощущение»\*. Одними из таких ощущений являются световые и цветовые при воздействии света на глаз.

*Зависимость между длиной электромагнитных волн и цветовыми ощущениями \*\**

Длина световых волн, нм	Цвета, ощущаемые глазом
380—430	Фиолетовые
430—470	Синие
470—500	Голубые
500—530	Зеленые
530—560	Желто-зеленые
560—590	Желтые
590—620	Оранжевые
620—760	Красные

Обычно сравнительно редко случается, когда предмет или окружающее пространство освещаются одноцветным (монокроматическим) светом, т. е. светом, имеющим примерно одинаковую длину волны. Чаще приходится иметь дело со световыми потоками сложного спектрального состава, т. е. состоящими из волн различной длины.

Световые потоки разного состава могут вызывать одинаковые цветовые ощущения в глазу. Световые потоки определенного состава при прочих равных условиях вызывают в глазу совершенно определенные, всегда одинаковые цветовые ощущения.

## § 21. СВЕТЯЩИЕСЯ И НЕСВЕТЯЩИЕСЯ, ПРОЗРАЧНЫЕ И НЕПРОЗРАЧНЫЕ ТЕЛА

*Светящиеся и несветящиеся тела.* Тела, излучающие свет в окружающее пространство, называются светящимися. К ним относятся Солнце, накаленная нить электрической лампы, горящая спичка и др. Цвет излучаемого света зависит от интенсивности излучения и его спектрального состава. Например, при увеличении напряжения, подаваемого на электрическую лампу через лабораторный автотрансформатор, увеличивается интенсивность излучения и цвет излучения изменяется от оранжевого к белому. Несветящиеся тела свет отражают, пропускают и поглощают.

\* Ленин В. И. Полн. собр. соч. Изд. 5-е, т. 18, с. 50.

\*\* Эта же зависимость графически изображена на рис. 54 (см. цветную вклейку).

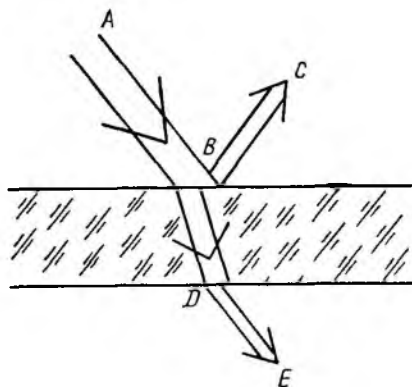


Рис. 55. Схема распределения световых потоков при прохождении через прозрачное тело

*Прозрачные и непрозрачные тела.* Тела, пропускающие падающий на них свет, называются прозрачными. Абсолютно прозрачных тел нет. Яркий солнечный свет в прозрачной морской воде не достигает глубины в 1000 м. Оптическое стекло поглощает около 1% падающего света в расчете на 1 см толщины стекла.

Вещество непрозрачных тел поглощает энергию света, которая превращается в тепловую и химическую. Кванты света выбивают электроны с внешнего электронного уровня ионов брома, находящихся в микрокристаллах галогенидов серебра, разрушают молекулы красителей. Максимальным поглощением обладает сажа — 99,6%. Свет, падающий на непрозрачные тела, разделяется на две части — поглощаемую и отражаемую. Свет, падающий на прозрачные тела, разделяется на три части — отражаемую, поглощаемую и пропускаемую.

Когда световой поток падает на поверхность тела (рис. 55), то часть света отражается от поверхности ( $BC$ ), часть света, преломляясь, входит внутрь тела ( $BD$ ). При этом некоторое количество света поглощается телом, превращаясь в другие виды энергии (обычно в тепловую энергию), оставшаяся часть пропускается телом и распространяется дальше ( $DE$ ).

Отношение отраженного потока к падающему называется коэффициентом отражения тела (поверхности). Коэффициент отражения показывает, какая часть падающего света отражается телом.

Отношение поглощенного телом потока к падающему называется коэффициентом поглощения тела.

Коэффициент поглощения показывает, какая часть падающего света поглощается телом.

Отношение пропущенного потока к падающему называется коэффициентом пропускания тела.

Коэффициент пропускания показывает, какая часть падающего света пропускается телом.

Коэффициенты отражения, поглощения и пропускания тела обозначаются в процентах от 100 или в виде десятичной дроби от 1. Кроме случая полного внутреннего отражения и полного поглощения абсолютно черным телом, ни один из коэффициентов не может быть равен 1, но сумма всех коэффициентов равна 1.

## § 22. ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ СВЕТА

*Избирательное и неизбирательное поглощение.* Тела, поглощающие энергию световых волн различной длины неодинаково, обладают избирательным поглощением (рис. 56, б) \*; если тело поглощает энергию световых волн одинаково на всех участках спектра, то оно обладает неизбирательным поглощением (рис. 56, в, г). Тела, пропускающие свет без изменения спектрального состава, называются бесцветными. К ним можно отнести оптическое и органическое стекло, некоторые жидкости (тонкий слой). Тонкий лист оконного стекла кажется бесцветным, но каждый помнит зеленоватый или голубоватый оттенок десятков листов стекла, приставленных друг к другу.

Тела, избирательно пропускающие свет, широко используются, например, в фотографической практике. Это светофильтры (рис. 56, а). Прозрачность светофильтра по отношению к лучам различной длины волны неодинакова. Например, желтый светофильтр средней плотности почти полностью прозрачен для зеленых, желтых и красных лучей и в значительной мере задерживает фиолетовые, синие и голубые лучи.

Цвет светофильтра, рассматриваемого на просвет, определяется светом, проходящим сквозь него. Цвет непрозрачного тела определяется светом, отраженным от него.

Во многих случаях, кроме поверхностного отражения, существуют явления рассеяния и отражения в самой окрашенной среде и поглощения ею части рассеянного света. Рассеяние и поглощение отличаются резко выраженной избирательностью и в совокупности вызывают окраску света, отраженного от тела.

В качестве примера возьмем образец, покрытый прозрачной (лессировочной) краской, и образец, на который нанесена непрозрачная (укрывистая) краска. Всякая краска состоит из красочного пигмента (сухой краски) и связующего вещества. Связующим для красок служат клеи, масла, лаки.

В лессировочных красках разница в показателе преломления связующей среды и частичками краски сравнительно мала. Поэтому при прохождении света, например через слой акварельной краски, лишь малая часть его отражается от поверхности пигментных зерен, гораздо большая часть проходит насквозь и окрашивается вследствие поглощения все интенсивнее. Попадая на матово-белую поверхность грунта, свет вторично проходит сквозь красочный слой (рис. 57).

При наложении прозрачных слоев различных красок друг на друга оттенок суммарной окраски будет зависеть от порядка наложения слоев. Допустим, что слой синей краски перекрыт желтой краской, а подложка у них белая. Свет первоначально проходит желтый красочный слой, частично отражается

\* Рис. 56 — см. цветную вклейку.

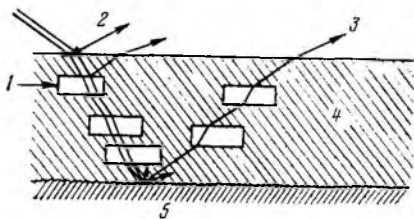


Рис. 57. Схема образования окраски при применении прозрачных (лесировочных) красок:

1— пигмент; 2— белый свет; 3— сильно окрашенный свет; 4— связующее вещество; 5— грунт

и поглощается, оставшаяся часть света подобным же образом пройдет через синий красочный слой, а от подложки отразится свет, прошедший через оба красочных слоя. В результате получается зеленый цвет с желтым оттенком. Если желтую краску перекрыть синей, то получится зеленый цвет с синим оттенком.

В укрывистых красках показатель преломления зернышек краски и связующего вещества значительно различается. Поэтому отражение света на границах раздела связующая среда — краска столь значительно, что уже на небольшой глубине прошедшая часть равна нулю, хотя отдельные зернышки сами по себе и являются прозрачными. Укрывистость краски тем больше, чем больше разница показателей преломления частичек пигмента и связующего вещества.

Масляные краски обладают значительно большей кроющей способностью по сравнению с акварельными. Свет, отраженный от поверхности образца, покрытого масляной краской, будет бесцветным. Свет, проникший внутрь красочного слоя, встретит на своем пути связующее вещество и крупинки краски. Показатель преломления краски сильно отличается от показателя преломления связующего вещества. Поэтому свет, встретив крупинку краски, разделится на отраженный и преломленный. Отраженный рассеянный свет будет еще бесцветным, так как он прошел только слой бесцветного связующего вещества, а преломленный свет пройдет через крупинку краски и при этом окрасится, так как краска обладает селективным поглощением. Свет по выходе из частички краски снова разделится на отраженный и преломленный. Отраженный свет возвратится обратно и будет теперь окрашенным, хотя и слабо, так как успел пройти только очень тонкий слой краски.

Преломленный свет пойдет в глубь слоя, где будет многократно подвергаться явлениям отражения и преломления на частичках краски. Свет, отразившийся в глубине красочного слоя, будет возвращаться к поверхности через выпележащие крупинки краски. Свет по мере углубления будет проходить все больший путь в частицах краски и по мере выхода из слоя создавать впечатление все более насыщенного цветового тона.

Если красочный слой толст или частицы краски малопрозрачны, то весь свет в конце концов отразится или поглотится в толще краски и практически не дойдет до грунта, на который краска нанесена.

Рис. 58. Спектральное отражение ( $\rho_{\lambda}$ , %) света от зеленой и серой (— — —) поверхностей

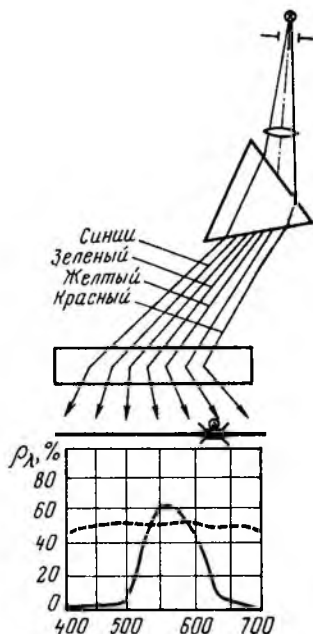
В результате процессов отражения и поглощения с поверхности красочного слоя будут выходить лучи, рассеянные на различных глубинах красочного слоя и обладающие вследствие этого различной насыщенностью. Эти лучи, суммируясь в результате оптического сложения, определяют собой видимый цвет краски. Спектральную отражательную способность тел графически выражают кривой спектрального отражения.

Кривая спектрального отражения. Для изучения отражательной способности тел пользуются спектрографом. Свет от источника проходит через призму, полученный спектр падает на испытуемый образец, а отраженные от него пучки света будут последовательно восприниматься фотоэлементом спектрографа. Чтобы исключить пока влияние других факторов, в частности спектрального состава света и спектральной чувствительности фотоэлемента, условимся, что световой поток равноэнергетический, а спектральная чувствительность равномерна по всему спектру. Тогда изменения интенсивности в отраженном пучке ( $\rho_{\lambda}$ , %) будут характеризовать зависимость отражающей способности от длины волны. При перемещении фотоэлемента вдоль спектра отражения самописец вычертит кривую спектральной отражательной способности (рис. 58).

Бесцветные поверхности, не обладающие избирательной способностью, будут давать спектр отражения в виде горизонтальной линии, параллельной оси абсцисс. Высота положения линии на графике зависит от отражательной способности. Чем ярче образец, тем выше по оси ординат находится линия.

Форма и положение кривых спектрального отражения цветных поверхностей зависят от их цвета и степени близости цвета к чистому спектральному. Возьмем для примера образцы, окрашенные некоторыми типичными красками.

Поскольку красный образец будет отражать максимум энергии в длинноволновой части спектра, то и положение линии в этой части на графике значительно выше, чем в остальной части спектра (рис. 59). Для желтого образца граница поглощения сдвинута до голубых лучей. Окрашенные образцы в



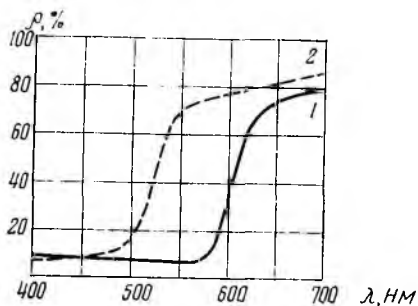
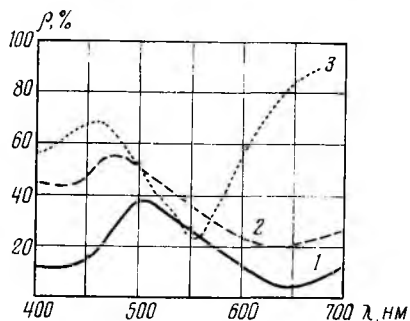


Рис. 59. Кривая спектрального отражения:

1 — красной краски; 2 — желтой краски

Рис. 60. Кривая спектрального отражения:

1 — зеленой краски; 2 — синей краски; 3 — пурпурной краски



той или иной степени отражают все лучи спектра, что особенно заметно по кривым зеленой и синей красок (рис. 60). Кривая спектрального отражения пурпурной краски имеет два подъема — в области синих и красных лучей, или, иначе, максимум поглощения этой краски приходится на область желто-зеленых лучей.

Чем больше образец отражает лучей во всех участках спектра, тем менее насыщенной будет восприниматься его окраска, поэтому слой аналогичной прозрачной краски, рас-

сматриваемой в проходящем свете, кажется более насыщенным. Причина этого явления — рассеяние света в крошечном слое.

**Рассеяние света.** Особым случаем селективного рассеяния света является рассеяние в неоднородной (мутной) среде, частички которой имеют размеры, соизмеримые с длиной волны видимого света. В случаях, когда поперечники частиц во много раз больше длины волны света, происходит изменение направления света, падающего на каждую частицу. Подобное рассеяние света неселективно.

Оптическая неоднородность среды возникает вследствие различных причин: внесение непрозрачных частиц, отражающих и поглощающих свет (пыль, муть и т. п.); внесение в прозрачную среду частиц прозрачного же вещества, но обладающего другим показателем преломления; вследствие образования в прозрачной жидкой или газообразной среде пузырьков пара; вследствие хаотического движения молекул — флуктуации плотности — внутри однородной жидкой или газообразной среды; вследствие отвердевания или кристаллизации прозрачного вещества.

Малые частицы, размеры которых не превышают 0,1 длины волны, рассеивают свет примерно одинаково по всем направлениям, и интенсивность его обратно пропорциональна четвертой степени длины волны. По мере увеличения размеров рассеиваю-

щих частиц интенсивность рассеяния все меньше начинает зависеть от длины волны.

В случаях, когда диаметры частиц соизмеримы с длиной волны света, наблюдается избирательное рассеяние света, зависящее от длины волны. Это рассеяние вызывается явлением дифракции, при которой свет, имеющий большую длину волны, огибает частицы, а коротковолновый больше рассеивается.

Прозрачный столб дыма на темном фоне, дым от сигареты при боковом освещении кажутся голубыми. Чем более мелкими будут частицы, рассеивающие свет, тем более голубой будет казаться взвесь, производящая рассеяние. При больших размерах частиц происходит рассеяние света всех длин волн, при этом облака, клубы пара и туман кажутся белыми.

Работы польского ученого М. Смолуховского (1908 г.) и математическая теория флуктуаций А. Эйнштейна (1910 г.) позволили объяснить голубой цвет неба и цвета зари. Флуктуации воздуха рассеивают много фиолетового света (к которому глаз малочувствителен), много синего и голубого, немного зеленого и желтого. Сочетание этих цветов и дает небесно-голубой цвет.

Небо кажется белесым, когда в воздухе скапливается большое количество пыли или когда появляются перистые облака, представляющие собой скопление ледяных кристалликов, так как пыль и кристаллики одинаково рассеивают все световые волны.

Белый солнечный свет, попадая в атмосферу, частично поглощается и рассеивается. Поэтому диск Солнца днем кажется желтоватым, а вечером и утром, когда лучи проходят через значительную толщу атмосферы и рассеяние возрастает, — красным. Этим объясняется, что в теневых участках объектов, сфотографированных на цветном фотоматериале в солнечный день, так хорошо заметен голубой цвет от света, рассеянного небом.

## § 23. АХРОМАТИЧЕСКИЕ И ХРОМАТИЧЕСКИЕ ЦВЕТА

*Ахроматические цвета.* Незбирательным поглощением обладают белая бумага, белый мел, серая или черная бумага. Цвет таких тел называется ахроматическим, т. е. в дословном переводе с древнегреческого — бесцветным («а» — отрицательная частица, «хрома» — цвет). Глаз человека способен различать (от самого яркого белого до самого черного) около трехсот ахроматических цветов.

Яркость непрозрачных несветящихся тел выражается произведением освещенности, умноженной на коэффициент отражения.

Коэффициент отражения характеризует светлоту тела. В условиях одинаковой освещенности яркость различных тел целиком зависит от коэффициентов отражения. Однако, если темно-

серый предмет осветить сильнее, чем светло-серый, то первый по яркости может сравниться и даже превзойти второй. Этим приемом пользуются, например, фотографы-портретисты. Когда необходимо понизить яркость, например белой одежды, чтобы на фотоснимке она меньше отвлекала внимание от главного — лица, то ее освещают слабее, притеняют посредством экранов-затенителей либо шторок, имеющихся на осветительном приборе.

*Хроматические цвета.* Для характеристики цветных поверхностей пользуются тремя определениями: цветовой тон, насыщенность, светлота. Цветовой тон и насыщенность вместе дают цветность, которая определяет цвет с качественной стороны. Количественные изменения цвета передаются различиями в его светлоте и насыщенности.

Цветовым тоном называется качественный признак, который обозначается словами «красный», «желтый», «зеленый», «синий» и т. д. Названия эти даются на основании сходства хроматических цветов с цветами спектра. Исключение составляет пурпурный цвет, отсутствующий в спектре, но существующий в природе.

Обозначается цветовой тон греческой буквой  $\lambda$  (лямбда) и выражается численно длиной волны того спектрального цвета, с которым имеет наибольшее сходство. Выражается цветовой тон длиной волны в нанометрах (нм). Цветовой тон пурпурных цветов условно выражается длиной волны дополнительных им зеленых цветов, взятой со знаком минус.

Деление спектра на семь цветовых тонов условно и сложилось под влиянием авторитета И. Ньютона, который в своих трудах по оптике попытался провести аналогию между спектром и музыкальной гаммой. В спектре глаз человека способен различить около 150 переходов по цветовому тону, названий же для них очень мало. Так, все цвета, составляющие переход от желтого к зеленому, обычно называют желто-зелеными, как если бы все они имели один и тот же цветовой тон. Кроме названий, производимых попарным соединением, используются также не собственно названиями цветов, а названиями предметов (тел), имеющих близкий по окраске цветовой тон (лимонный, кофейный, соломенный, кирпичный, вишневый, бирюзовый, рубиновый и т. д.).

Насыщенностью называется степень выраженности цветового тона, т. е. степень близости цвета к чистому спектральному. Насыщенность цвета можно считать ощущением его чистоты. Самыми насыщенными принято считать спектральные цвета. Цвета со слабым выражением цветового тона называются малонасыщенными. Примерами малонасыщенных цветов могут служить розовый, бледно-зеленый, светло-голубой, коричневый, темно-зеленый, темно-синий.

Для изменения насыщенности цвета удобно пользоваться растворителями или ахроматическими красками. Для получения



хроматического ряда убывающей светлоты после получения образца, окрашенного насыщенной краской, к ней добавляют порцию белой и производят окраску очередного образца. Так поступают до получения почти белой краски.

В ткацком производстве малонасыщенные цвета получают скручиванием двух тонких нитей в одну или же переплетением основы и утка. Скручивая синюю и белую нити, получают голубую, красную с белой — розовую, синюю с черной — темно-синюю, красную с черной — темно-красную (бордо) и т. д. Результаты смешивания будут зависеть от количественных соотношений смешиваемых оптически компонентов.

Обозначается насыщенность буквой  $P$  и выражается в долях от единицы или в процентах по отношению к самым насыщенным цветам — спектральным, насыщенность которых (или чистота) условно принимается за 100%.

Светлотой называется свойство окрасок поверхностей, позволяющее разделить их на светлые и темные. Самым светлым для глаза в спектре будет желтый цвет, самым темным — насыщенный фиолетовый. Светлота окраски характеризует видимую глазом отражательную способность поверхности тела, которую можно сравнивать с отражательной способностью других тел, находящихся в таких же условиях освещения.

Обозначают светлоту буквой  $L$ . Выражают светлоту количественно в процентах по отношению к самой светлой окраске, светлота которой условно принимается за 100% (идеально белая поверхность).

Светлота часто находится в прямой зависимости от насыщенности. Например, по мере разведения красной краски белыми цвет становится малонасыщенным — розовым, а светлота возрастает. При добавлении черной краски к насыщенной снижаются насыщенность и светлота. С изменением светлоты некоторых красок изменяется и воспринимаемый цветовой тон. В этом можно убедиться на простом опыте: если на оранжевый образец, выполненный акварельной краской, нанести черную краску, то цветовой тон переходит в коричневый; при нанесении черной краски на желтый образец цветовой тон переходит в бурый.

Светлота является постоянной характеристикой цвета окраски, она аналогична коэффициенту отражения и также не зависит от величины освещенности.

Светлота некоторых поверхностей приведена в табл. 1.

Оценку цветов по светлоте (при их сравнении) производят в художественной и производственной практике очень часто. Так, художник передает различные цвета изображаемых предметов, давая полную иллюзию и впечатление живописной передачи. Фотографу при съемке на черно-белые фотоматериалы очень часто приходится решать вопрос — какую светлоту будет иметь изображение данного цветного элемента на позитиве? Это важно при съемке натюрмортов, пейзажей, архитектуры и др.

Но, пожалуй, наибольшее влияние на восприятие оказывает соотношение светлот в фотопортрете.

Определяя соотношения светлот лица и фона, лица и одежды, одежды и фона (при одинаковом освещении всех элементов), фотограф обязательно должен представлять себе хроматические тона в виде серых соответствующих оттенков. Важно научиться подбирать или уравнивать светлоту серого к любому хроматическому цвету и приобрести в этом соответствующий навык. При этом появится и навык в сравнении предполагаемых светлот цветных элементов в черно-белом изображении позитива. Например, при съемке на натуре важно оценить, что выйдет на снимке более светлым, одежда портретируемого или зеленый фон леса?

Предполагая, как будет передан данный цветовой тон в позитиве, фотограф может изменить условия съемки, например использовать светофильтр и т. п.\*

Для того чтобы цветная окраска предметов, входящих в кадр, не помешала восприятию соотношений светлот примерно такими, как они будут выглядеть на отпечатке, рекомендуется смотреть на изображаемые объекты через темно-синее стекло.

Выработать навыки по определению светлоты хроматического тона можно методом подрисовки серого поля такой же светлоты и методом подбора серого поля по шкале. Из хроматических цветов рекомендуется брать светлые, средние и темные, зарисовать или подобрать несколько цветных образцов (независимо от степени насыщенности), а затем к каждому из них подрисовать серое поле такой же светлоты.

Оценку цветов по светлоте производят по специальной серой шкале, состоящей из 12—26 ступеней — от самого черного до самого белого, коэффициенты отражения которых предварительно измерены. Эталоны наклеены в прорези картонки в виде узких прямоугольных полос на некотором расстоянии друг от друга (рис. 61). Серую шкалу накладывают на цветную поверхность, светлоту которой хотят измерить, и наблюдают, какая из серых ступеней более подходит по светлоте к цветному полю. Коэффициент отражения найденного серого образца и будет светлотой цвета.

Кроме понятия «цветовой тон», существует еще термин «тон», который служит для качественной характеристики цветов и их

---

\* Строго говоря, между светлотой, определяемой посредством глаза и передаваемой посредством фотоматериала, не может быть равенства, так как эффективная экспозиция фотопленки зависит от цветовой температуры источника света, цвета и плотности используемого светофильтра и спектральной чувствительности фотошленки, которые всегда в той или иной мере отличаются от способности глаза оценивать светлоту цвета. Однако для рассматриваемого случая (дневное освещение, изохроматическая спектральная чувствительность негативного фотоматериала) фотографическая и визуальная светлоты цветных объектов практически близки и ошибка будет не столь значительна.

Рис. 61 Простейший визуальный измеритель светлоты

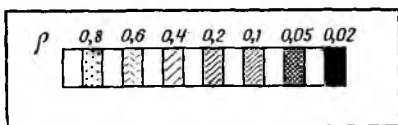


Рис. 63. Схема цветового круга с парами взаимодополнительных цветов

Рис. 64. Схема цветового треугольника

соотношений и аналогичен визуальной яркости. Как и по яркости, цвета делятся на светлые и темные. Термин «тональность» является производным от термина «тон». При преобладании в кадре светлых тонов говорят о высокой (светлой) тональности, при преобладании темных — о низкой (темной) тональности.

**Цветовой круг.** Спектр представляет собой естественный ряд цветовых тонов, которые постепенно и непрерывно переходят один в другой. Начинается спектр красным цветом, заканчивается фиолетовым, который содержит в себе некоторый элемент красноты и представляет собой начало перехода от синего к красному. При смешении синих и красных спектральных цветов получаются пурпурные. Добавив к цветам спектра пурпурные цвета, получим полный ряд цветовых тонов, который называют цветовым кругом (рис. 62, см. цветную вклейку). Круг включает в себя все возможные цветовые тона.

На рис. 63 приведена схема цветового круга с дополнительными цветами. Такое распределение спектральных цветов на пять пар взаимодополнительных цветов является произвольным. Солнечный спектр можно разделить на любое число частей, и каждая из этих цветных частей (кроме зеленого) может иметь в нем свой взаимодополнительный цвет. При расположении противоположащих цветов по принципу контраста против голубого будет находиться красный, против фиолетового — желтый и т. д. Аналогично цветовому кругу пользуются цветовым треугольником, схема которого приведена на рис. 64.



Пользуясь цветовым кругом, можно подбирать гармонирующие цвета, так называемые цветовые триады. Для этого в круг вписывают равносторонние треугольники и берут те три цвета, которые расположены в вершинах.

*Изменение цвета в зависимости от освещения и удаления.* Каждому приходилось наблюдать, как изменяются некоторые цвета при изменении освещения. Предметы, днем имеющие темно-синюю окраску, при освещении лампами накаливания выглядят черными. Четкая надпись красным карандашом на белой бумаге становится почти неразличимой в фотолaborатории, освещенной красным светом, а яркость синей или зеленой надписи заметно понизится, т. е. они станут казаться черными.

Характеристику спектрального состава света, отражаемого телом, можно получить на специальном приборе — спектрофотометре. Визуальное впечатление от изменения цвета объекта при изменении спектрального состава света не совпадает с объективными показаниями, полученными на спектрофотометре, так как в первом случае очень заметно проявляется известное постоянство цветового восприятия — цветовая адаптация.

Подобные изменения наблюдаются при всяком другом цветном освещении и выражаются в том, что цветовой тон, насыщенность и светлота меняются гораздо меньше, чем спектральный состав отражаемого предметами света.

При освещении лампами накаливания наблюдаются следующие важнейшие изменения цвета сравнительно с дневным освещением:

красные, оранжевые и желтые цвета светлеют; зеленые, голубые, синие и фиолетовые темнеют; светлота теплых зеленых не изменяется;

красные цвета становятся насыщеннее, оранжевые цвета краснеют, светло-желтые цвета становятся трудно отличимыми от белых;

голубые цвета зеленеют и иногда бывают неотличимы от холодных зеленых, синие цвета теряют в насыщенности, темно-синие становятся неотличимыми от черных, фиолетовые цвета краснеют и иногда бывают неотличимы от пурпурных.

Отсюда становится понятной рекомендация, приводимая в руководствах по копировальному процессу в цветной фотографии: контроль за правильностью цветопередачи проводить только при освещении отпечатков дневным светом или аналогичным ему по составу светом люминесцентных ламп.

Выбирая окраску для помещений, рассчитанную на восприятие при дневном и искусственном освещении, надо учитывать, как изменится цвет отдельных красок и их сочетаний.

При съемке на природе с больших расстояний длиннофокусными объективами бывает заметно, что синий, фиолетовый и пурпурный цвета при удалении темнеют, а все прочие светлеют.

Сильно освещенный желтый цвет при наблюдении с дистан-

ции больше 500 м заметно краснеет, а оранжевый на расстоянии 500—800 м становится неотличимым от красного. Зеленый цвет голубеет, а голубой зеленеет (при сильном освещении). Синий цвет при увеличении дистанции наблюдения очень быстро теряет свою насыщенность и воспринимается как темно-серый.

*Светлота и яркость.* Окружающие нас тела имеют окраску. Окраской называется цвет поверхности, наблюдаемый при белом дневном рассеянном свете средней яркости на близком расстоянии.

Образование окраски тел ранее рассматривалось при условии, что на объект падает свет равноэнергетического спектра. Фактически спектральный состав естественного света в солнечный или пасмурный день, а также утром или вечером меняется.

Состав отраженного или пропущенного света, определяющий цвета тел, зависит от спектрального состава падающего света и спектра отражения или пропускания тела. Следовательно, при неизменной светлоте цвет объекта меняется в зависимости от спектрального состава света, а также от величины освещенности. Например, при освещении цветной фотографии светом ламп накаливания голубые цвета заметно зеленеют. Черная бумага, освещенная прямым солнечным светом, объективно светлее (ярче) белой, находящейся в тени. Поэтому при обсуждении цветов самосветящихся или несамосветящихся тел понятие «светлота», как относящееся только к окраске, заменяется понятием «яркость».

## § 24. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА И ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА

Вопросами измерения и количественного выражения цвета занимается специальная наука — колориметрия. Методы колориметрии дают возможность точно выразить результаты смешения, а также определить состав сложных цветов. Теория и практика колориметрии основаны на свойствах цветового зрения человека, которые были установлены опытным путем и выражены в соответствующих математических отношениях.

Для получения экспериментальных данных, необходимых для расчета цвета, производились следующие фотометрические измерения. На левую грань белой призмы (см. рис. 49) падает некоторое излучение, цвет которого мы исследуем. Если на правую грань призмы направить три разноцветных излучения от трех источников (синий, зеленый, красный), то, меняя их интенсивность, мы можем уравнивать по яркости и цветности обе грани призмы. Это колориметрическое равенство, определяющее тождество исследуемого цвета  $F$  и трех его компонент —  $F_R$ ,  $F_G$ ,  $F_C$ , можно описать следующим цветовым уравнением:

$$F = F_R + F_G + F_C.$$

В принятой МОК колориметрической системе цветов любой цвет обозначается как сложение трех основных цветов\*, обозначаемых  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , и может быть выражен математически в виде цветового уравнения

$$C = x_1 X + y_1 Y + z_1 Z,$$

где  $X, Y, Z$  — основные — красный, зеленый и синий цвета;

$C$  — определяемый цвет;

$x_1, y_1, z_1$  — цветовые коэффициенты, показывающие, в каких соотношениях должны быть смешаны основные цвета.

Качественную характеристику цвета — цветность, являющуюся производной цветового тона и насыщенности, удобнее оценивать с помощью относительных цветовых коэффициентов  $x$ ,  $y$  и  $z$ :

$$X = \frac{x_1}{x_1 + y_1 + z_1}; \quad y = \frac{y_1}{x_1 + y_1 + z_1}; \quad z = \frac{z_1}{x_1 + y_1 + z_1}.$$

Исходя из положения, что сумма трех коэффициентов равна единице —  $x + y + z = 1$ , можно сделать вывод о независимости двух относительных коэффициентов и охарактеризовать любой цвет с качественной стороны двумя относительными цветовыми коэффициентами при определенных основных цветах  $X, Y, Z$ . В то же время третий коэффициент будет равен единице минус сумма двух независимых коэффициентов, что позволяет изобразить любую цветность в виде точки в прямоугольной системе координат  $XU$  и получить цветовой график, позволяющий связать значения относительных цветовых коэффициентов  $x$  и  $y$  с цветовым тоном и насыщенностью относительно светового потока или белого цвета.

На цветовом графике (рис. 65) по оси абсцисс отложены значения относительного цветового коэффициента  $x$ , а по оси ординат —  $y$ .

На крайней кривой расположены все цвета видимого участка спектра — от 400 до 700 нм, соединенные прямыми линиями с центральным белым цветом. Прямые линии пересекают кривые равной насыщенности в пределах 0,1—1.

Пользуясь таким графиком, можно определить тон и насыщенность цвета, для чего необходимо знать либо значение двух относительных коэффициентов  $x$  и  $y$ , либо значения трех цветовых коэффициентов  $x_1, y_1, z_1$ . Точка на графике, имеющая координаты  $X$  и  $Y$ , соединенная прямой линией с центром графика, продолженной до граничной кривой, дает возможность определить на граничной кривой цветовой тон и насыщенность соответственно положению точки между кривыми равной насыщенности.

---

\* Реально не существующие, более насыщенные, чем спектральные цвета.

Координаты цветности световых потоков, а также цветовой тон и чистоту цвета определяют на основе измерений, производимых с помощью специальных приборов — зрительных и фотоэлектрических колориметров.

## Глава VI. СВЕТОФИЛЬТРЫ

### § 25. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ СВЕТОФИЛЬТРОВ

В различных экспериментах, при освещении театральной сцены или съемочной площадки в кино, в практике фотографических работ нередко возникает необходимость изменения спектрального состава излучения источников света. Цели при этом бывают разные. Например, получение одноцветного (монохроматического) пучка света; изменение спектральной кривой распределения энергии источника для приравнивания цветовой температуры лампы накаливания к дневному свету, и наоборот; устранение излучения, к которому чувствительна обрабатываемая фотографическая эмульсия.

Изменение спектрального состава достигается как для видимых, так и невидимых для глаза излучений.

Светофильтром называется прозрачная среда, изменяющая при пропускании качественный (спектральный) и количественный состав видимого излучения.

Физической основой избирательного пропускания служат избирательное поглощение, избирательное рассеяние и другие явления.

Наибольшее распространение получили абсорбционные (поглощающие) светофильтры. Это связано с тем, что можно изготовить светофильтр, близкий почти к любой заранее выбранной кривой спектрального пропускания.

В фотографии светофильтры наиболее часто используются с целью выделения определенного участка спектра (фотосъемка в определенных зонах видимых и невидимых лучей); для ослабления света отдельных областей спектра (фотосъемка пейзажа с использованием желтого светофильтра); для искаженной передачи яркостей отдельных деталей по сравнению с тем, как эти яркости представляются глазу (фотосъемка с исследовательскими целями); в цветной репродукционной фотографии для получения трех цветоделенных негативов; для изменения цветовой температуры источника света, например при фотосъемке на пленках марки ЦНД с конверсионными светофильтрами\* при освещении

---

\* Назначение конверсионных светофильтров состоит в изменении спектрального состава излучения таким образом, чтобы приблизить спектральный состав одного источника освещения к спектру другого источника осве-

объекта лампами накаливания и, наоборот, при съемке на пленках марки ЦНЛ при дневном освещении; для печати цветного изображения или исправления цветопередачи в процессе печати; для изменения цветопередачи при проекции диапозитивов; для освещения цветным светом объекта съемки или фона; для освещения помещений неактивным светом в процессе обработки фотоматериалов и в других случаях. Светофильтры могут быть твердые, жидкие и газообразные. Выбор типа светофильтра определяется условиями выполнения работы, а также требуемыми кривыми спектрального пропускания.

Наиболее удобными являются твердые светофильтры. Их изготавливают из окрашенного в массе стекла, пластмассы, желатиновой пленки или другого материала.

Стеклопленочные светофильтры более устойчивы к царапинам и более светостойчивы, однако их спектральные кривые значительно менее разнообразны, и, кроме того, такие светофильтры нельзя изготовить в лабораторных условиях.

В последние годы все более широкое распространение (в осветительной технике, фотографии) получают светофильтры, изготовленные путем окраски различных пленок. Достоинствами их являются удобство использования, большой ассортимент цветовых тонов и сравнительно большая светостойкость.

В фотографии часто пользуются желатиновыми светофильтрами, представляющими собой окрашенный листок (фолию), вклеенный между двумя защитными стеклами. Так в большинстве случаев изготавливают светофильтры для лабораторных фотопарей, корректирующие светофильтры для печати цветных фотографий по субтрактивному методу.

Жидкие светофильтры представляют собой растворы различных веществ, залитые в прозрачные кюветы с плоскопараллельными стенками. Красящими веществами являются неорганические соединения — соли различных металлов, и органические соединения — анилиновые красители.

Жидкие светофильтры просты в изготовлении, путем добавления красителя или растворителя можно плавно изменять спектральную кривую светофильтра, прост учет окончательной концентрации красящих веществ в полученном светофильтре и, следовательно, проста воспроизводимость.

Газовые светофильтры имеют малое распространение из-за неудобства в обращении. Обычно газовые светофильтры применяют для отделения ультрафиолетовых лучей с длиной волны менее 300 нм от более длинноволновых, что является трудновы-

---

щения. Чтобы приблизить спектральный состав света ламп накаливания к спектральному составу дневного света, применяют голубой светофильтр (например, 40% из комплекта корректирующих светофильтров для печати цветных фотографий). Для изменений спектрального состава дневного освещения в сторону спектрального состава ламп накаливания используют светло-оранжевые светофильтры.



полным с помощью жидких или твердых светофильтров. Для получения нужных характеристик фильтра используют газ, например хлор, или пары брома под давлением в несколько атмосфер.

Потери на отражение для лучей, падающих перпендикулярно поверхности стекла, составляют 4% на границе раздела воздух — стекло. На границе стекло — воздух свет также отражается, и потери лучистой энергии, нормально падающей на плоскопараллельную пластину (светофильтр), составляют 7,84%.

Количество отраженного света, а следовательно, и количество света, проходящего через переднюю поверхность, зависит от угла падения.

Отражение света от поверхности неокрашенного и окрашенного стекла одинаково неизбежно (неселективно). Спектральный состав света, отраженного на границе стекло — воздух, зависит от окраски стекла.

## § 26. ОТРАЖЕНИЕ, ПОГЛОЩЕНИЕ И ПРОПУСКАНИЕ СВЕТА СВЕТОФИЛЬТРАМИ

Отражение, поглощение и пропускание света светофильтрами происходят одновременно, но соотношения между ними различны и зависят от длин волн. Количество отраженной, поглощенной и пропущенной светофильтром энергии равно энергии падающего света, поэтому сумма коэффициентов отражения, поглощения и пропускания света равна единице. Посредством различных светоизмерительных приборов количество отраженной, поглощенной и пропущенной энергии для различных зон спектра может быть измерено и изображено графически (рис. 66). Для каждой длины волны эти характеристики выражаются либо десятичными дробями, либо в процентах. Приведенный график характеризует основные свойства зеленого светофильтра.

В зависимости от того, какие данные интересуют в каждом конкретном случае, такой график можно разделить на три самостоятельных с указанием коэффициентов отражения (рис. 67, а), коэффициента пропускания (рис. 67, б) и коэффициента поглощения (рис. 67, в).

Светофильтр можно охарактеризовать или посредством кривой спектрального пропускания, или посредством кривой спектрального поглощения.

Коэффициент пропускания светофильтра ( $\tau$ ) показывает, какая доля упавшего светового потока прошла через него, %:

$$\tau = \frac{\Phi^-}{\Phi_0},$$

где  $\Phi_0$  — величина светового потока, упавшего на светофильтр;  
 $\Phi^-$  — величина светового потока, пропущенного светофильтром.

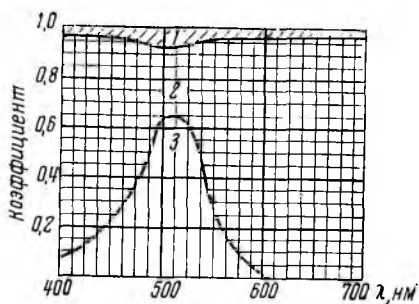


Рис. 66. Кривые, показывающие спектральные коэффициенты:

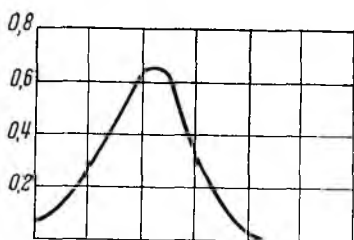
1 — отражения; 2 — поглощения; 3 — пропускания зеленого светофильтра

Рис. 67. Коэффициенты:

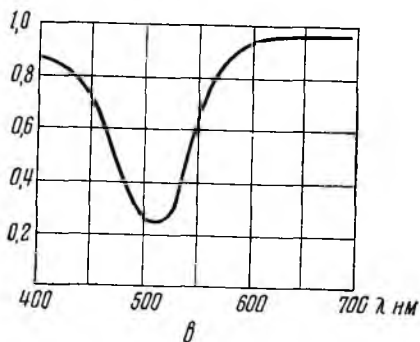
а — отражения; б — пропускания; в — поглощения



а



б



в

В некоторых источниках в качестве характеристики светофильтров приводятся кривые поглощения. В этом случае основной характеристикой является оптическая плотность  $D$ . Величина  $D$  выражает десятичный логарифм непрозрачности, т. е. величины, обратной коэффициенту пропускания  $\left(\frac{1}{\tau}\right)$ . Например, свето-

фильтр пропустил  $\frac{1}{10}$  часть упавшего на него света, коэффициент пропускания  $\tau=0,1$ ; непрозрачность  $\frac{1}{\tau}=10$ , а  $D=$   
 $= \lg \frac{1}{\tau} = \lg 10 = 1$ .

За единицу оптической плотности принимается такая плотность, которой при отражении или пропускании соответствует ослабление света в 10 раз. Плотность двух слоев будет равна:

$$D = \lg \frac{1}{\tau_1 \tau_2} =$$

$$= \lg \frac{1}{\tau_1} + \lg \frac{1}{\tau_2} = D_1 + D_2,$$

т. е. сумме оптических плотностей, измеренных для каждого из слоев в отдельности.

Для перевода коэффициентов пропускания в значение плотности служит табл. 19.

Если при построении кривой поглощения использовать

Сокращенный вариант таблицы перевода коэффициентов пропускания в значение плотности

$\tau, \%$	$D$	$\tau, \%$	$D$	$\tau, \%$	$D$	$\tau, \%$	$D$
95	0,022	60	0,222	25	0,602	4	1,398
90	0,046	55	0,260	20	0,699	3	1,523
85	0,071	50	0,301	15	0,824	2	1,699
80	0,097	45	0,347	10	1,000	1,5	1,824
75	0,125	40	0,398	8	1,097	1	2,000
70	0,155	35	0,456	6	1,222	0,5	2,301
65	0,187	30	0,523	5	1,301	0,1	3,000

равномерную шкалу, то график станет непропорционально растянутым в области больших величин и сжатым в области малых. Поэтому обычно пользуются равномерной логарифмической шкалой оптических плотностей  $D$ . Последним в таблице приведено значение  $D=3$ , потому что при этой плотности проходит только  $1/1000$  часть падающего света и ее можно считать практически непрозрачной.

Определив, например, на спектрофотометре оптическую плотность светофильтра для луча определенного цвета  $D_\lambda$  как функцию длины волны  $\lambda$ , наносят полученное значение на график.

Форма кривой поглощения светофильтра зависит от характера избирательного поглощения, взятого для изготовления светофильтра вещества, например красителя, и концентрации этого вещества.

Свойства оптического бесцветного и цветного стекла определяются составом шихты, т. е. смеси сырьевых материалов, взятых в заданном весовом отношении. Шихта составляется из стеклообразующих сырьевых материалов, красителей, осветлителей и некоторых других материалов. Красители подразделяются на молекулярные и коллоидные. Молекулярные красители окрашивают стекло в зависимости от характера красителя и его концентрации, коллоидные — в зависимости от его термической обработки.

Молекулярными красителями являются соединения марганца, сообщающие стеклу фиолетовую окраску; соединения кобальта, окрашивающие стекло в синий цвет, а совместно с другими красителями — в синий с переходом в зеленый или пурпурный и фиолетовый; соединения урана, сообщающие стеклу желтую окраску, и др.

Коллоидными красителями являются соединения золота, придающие стеклу рубиновую окраску, а также соединения селена и кадмия, окрашивающие стекло в желтый, оранжевый или красный цвет.

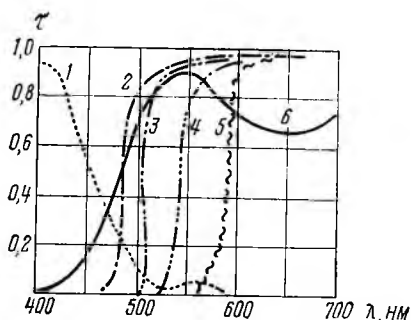


Рис. 68. Кривые спектрального пропускания стекла для светофильтров: 1 — синего СС-4; 2 — желтого ЖС-17; 3 — желтого ЖС-18; 4 — оранжевого ОС-12; 5 — красного КС-10; 6 — желто-зеленого ЖЗС-5

Цветные стекла выпускаются 15 типов, каждый из которых включает в себя по несколько марок.

В тех случаях, когда для исследований или технических целей необходимо проводить

фотосъемку в ультрафиолетовых лучах, используют оптические детали и светофильтры, изготовленные из флюорита (граница пропускания около 130 нм), кварцевого стекла (граница пропускания около 200 нм) и других материалов. В частности, увиолевое (кварцевое) стекло получают путем тщательной очистки

### Марки цветных стекол

Тип стекла	Марка стекла
УФС — темное ультрафиолетовое	УФС-1, УФС-2, УФС-5, УФС-6, УФС-8
ФС — фиолетовое	ФС-1, ФС-6, ФС-7
СС — синее	СС-1, СС-2, СС-4, СС-5, СС-8, СС-9, СС-11, СС-13, СС-14, СС-15
СЗС — сине-зеленое	СЗС-3, СЗС-5, СЗС-7, СЗС-8, СЗС-9, СЗС-15, СЗС-16, СЗС-17, СЗС-20, СЗС-21, СЗС-22, СЗС-23, СЗС-24, СЗС-25, СЗС-26
ЗС — зеленое	ЗС-1, ЗС-2, ЗС-3, ЗС-6, ЗС-7, ЗС-8, ЗС-10, ЗС-11
ЖЗС — желто-зеленое	ЖЗС-1, ЖЗС-4, ЖЗС-5, ЖЗС-6, ЖЗС-9, ЖЗС-10, ЖЗС-12, ЖЗС-13, ЖЗС-17, ЖЗС-18, ЖЗС-19
ЖС — желтое	ЖС-3, ЖС-4, ЖС-10, ЖС-11, ЖС-12, ЖС-16, ЖС-17, ЖС-18, ЖС-19, ЖС-20
ОС — оранжевое	ОС-5, ОС-6, ОС-11, ОС-12, ОС-13, ОС-17
КС — красное	КС-10, КС-11, КС-13, КС-14, КС-15, КС-17, КС-18, КС-19
ИКС — инфракрасное темное	ИКС-1, ИКС-3, ИКС-5, ИКС-6, ИКС-7
ПС — пурпурное	ПС-5, ПС-7, ПС-8, ПС-11, ПС-13, ПС-14, ПС-15
НС — нейтральное	НС-1, НС-2, НС-3, НС-6, НС-7, НС-8, НС-9, НС-10, НС-11, НС-12, НС-13
ТС — темное	ТС-1, ТС-2, ТС-3, ТС-4, ТС-6, ТС-7
МС — молочное	МС-12, МС-13, МС-14
БС — бесцветное ультрафиолетовое	БС-3, БС-4, БС-5, БС-6, БС-7, БС-8, БС-10, БС-12
Бесцветное инфракрасное	БС-14, БС-15

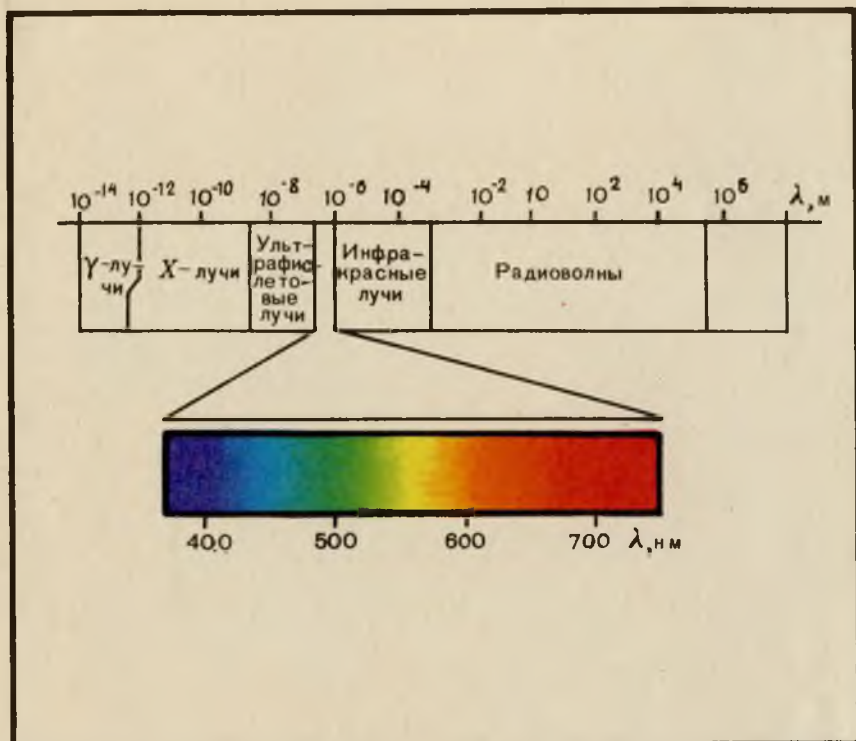


Рис. 1. Спектр электромагнитных колебаний

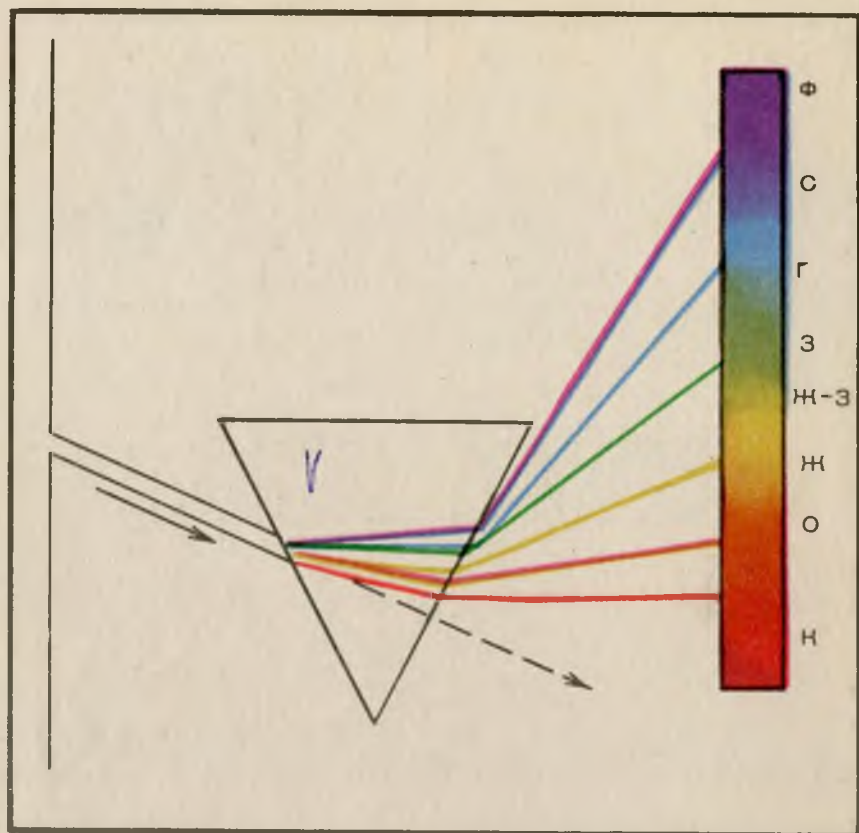


Рис. 54. Оптическая схема разложения пучка белого света в спектр составляющих его цветных лучей

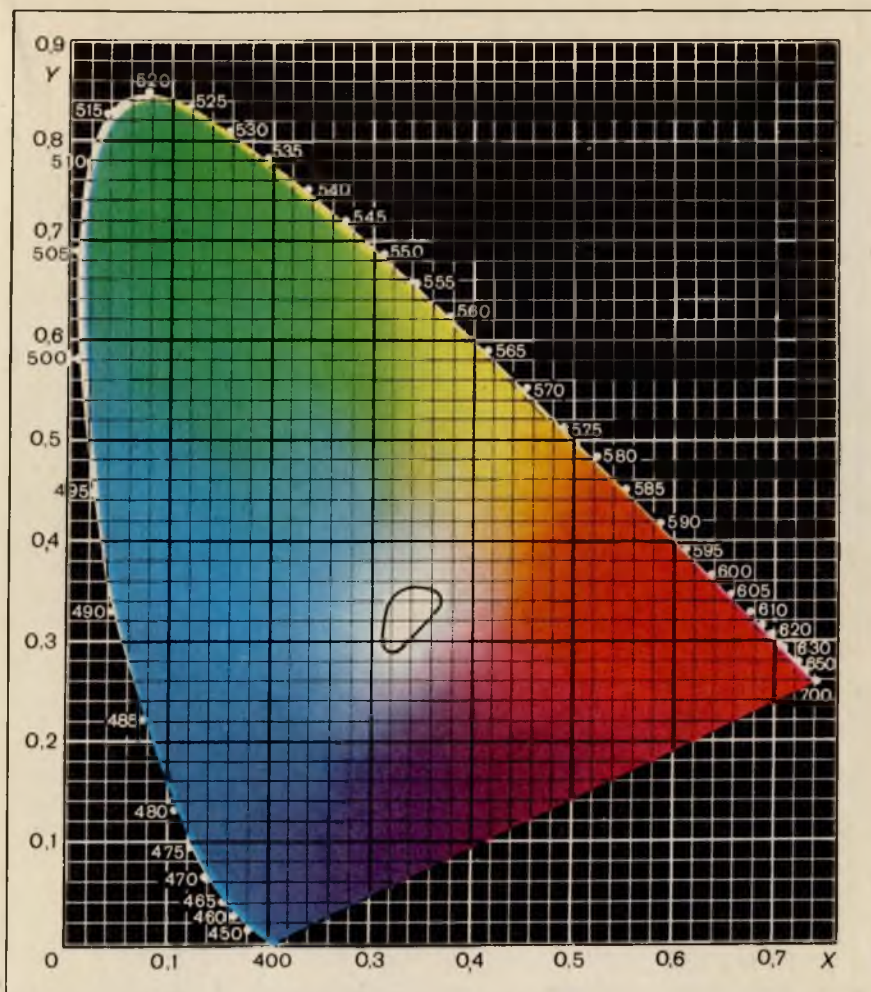


Рис. 65. Цветовой график в Международной колориметрической системе XYZ

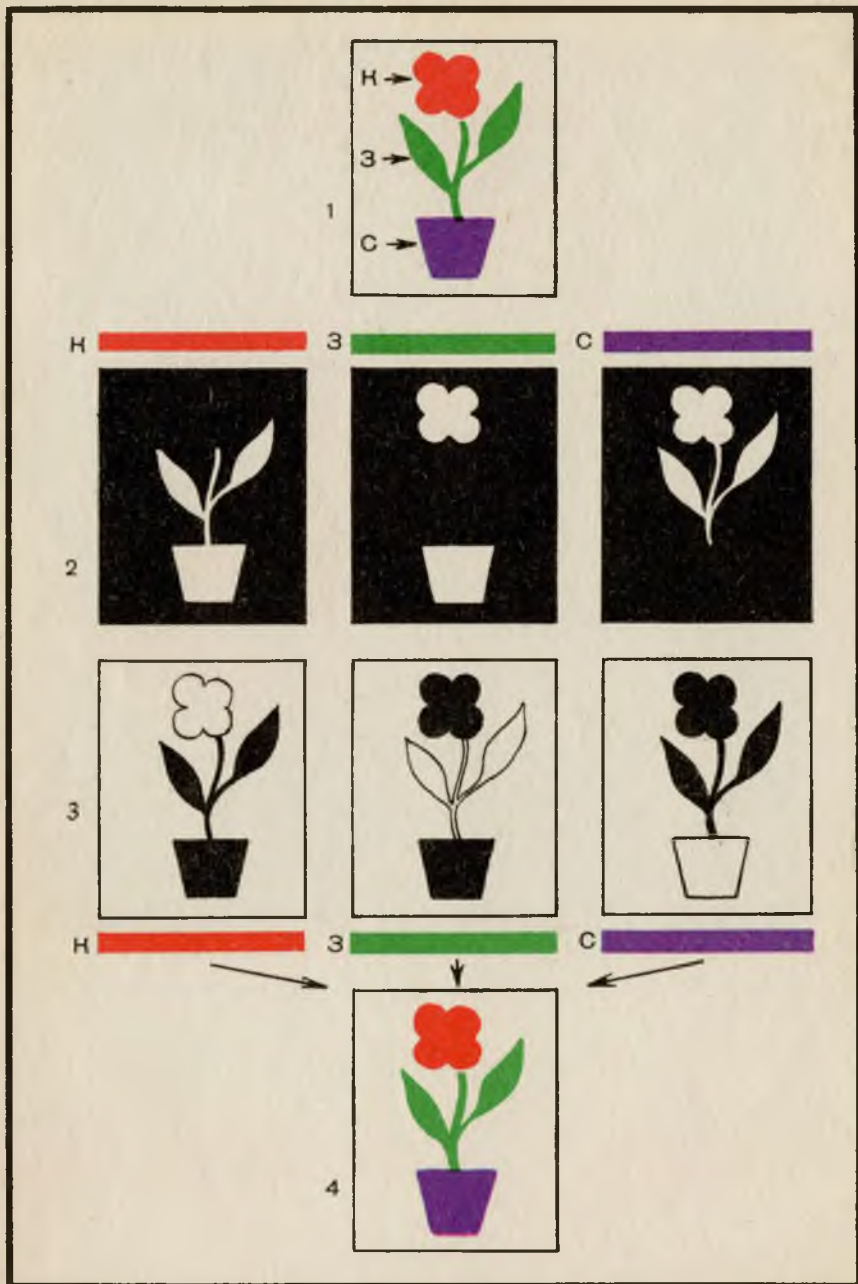


Рис. 81. Схема воспроизведения многоцветного объекта по аддитивному методу:

1 — оригинал; 2 — цветоделенное изображение на трех негативах; 3 — изображение на трех частичных диапозитивах; 4 — многоцветное изображение на белом экране



вопрос № 2

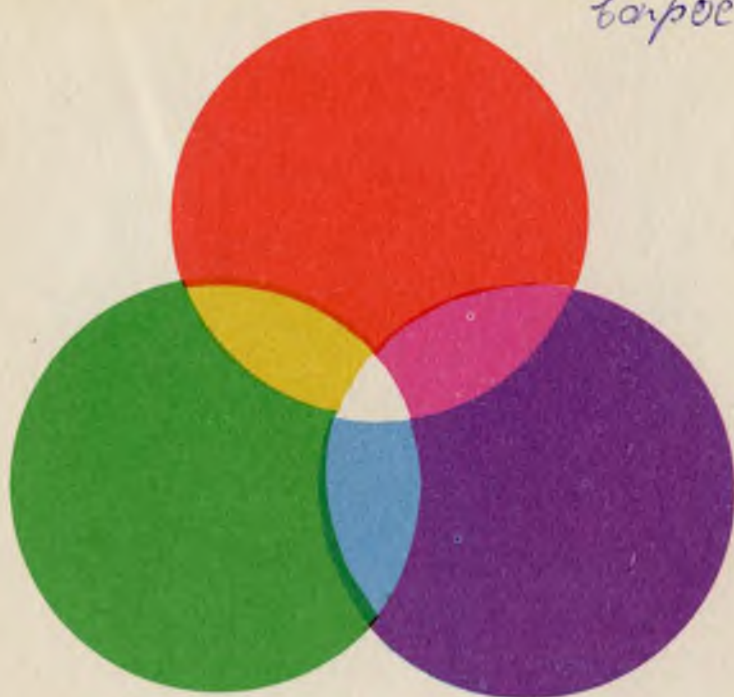
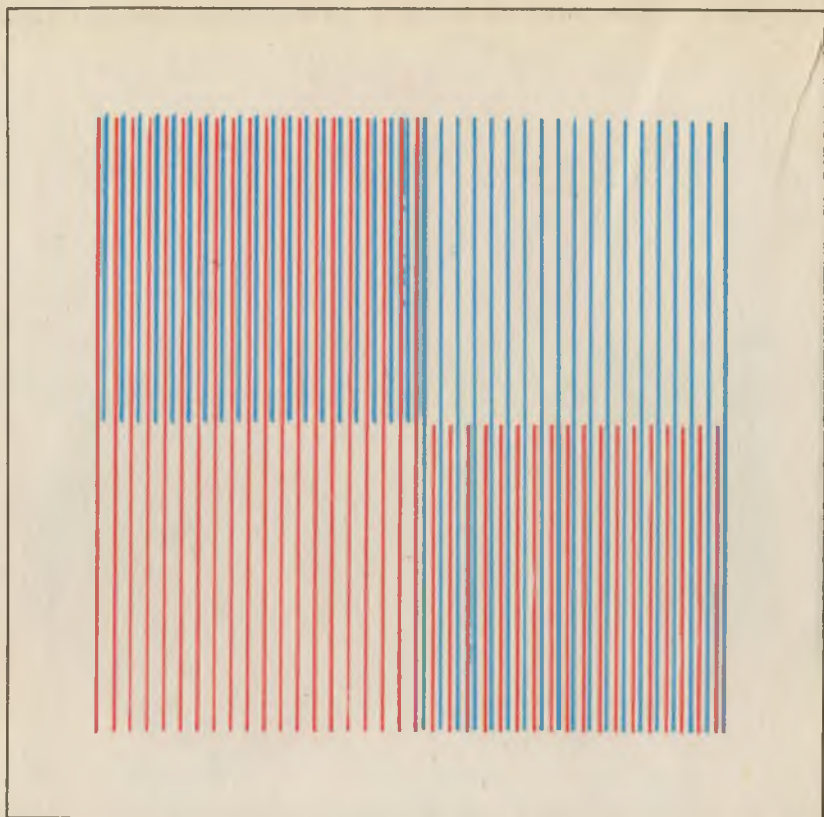
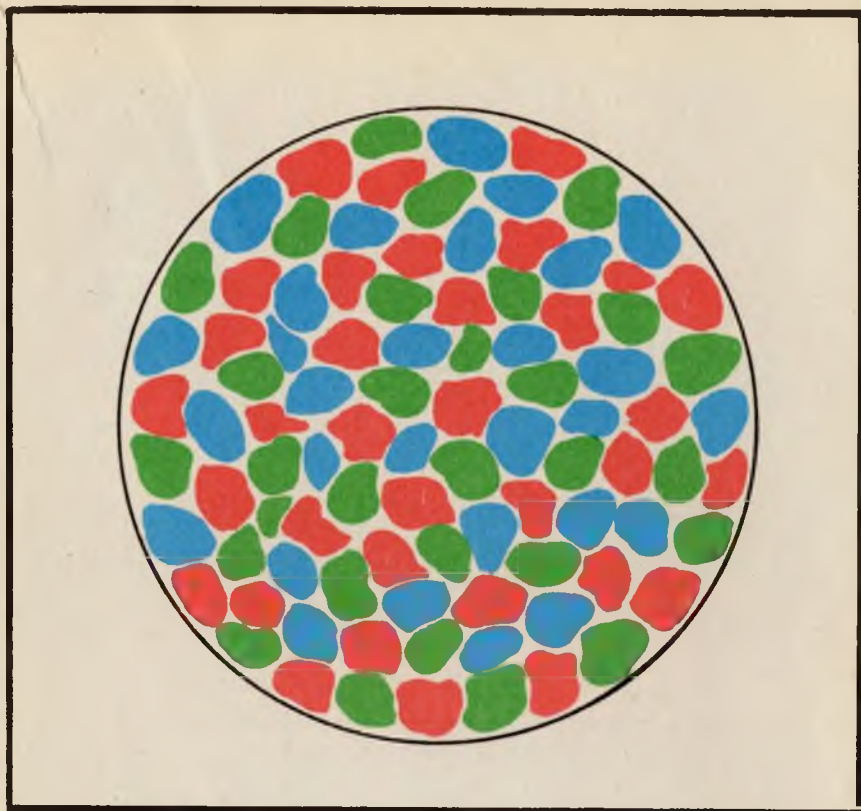


Рис. 82. Смешение трех световых пучков основного цвета на белом экране



*Рис. 85. Аддитивный синтез цвета — пространственное смещение*



*Рис. 86. Структура нерегулярного раstra автохромных пластинок*

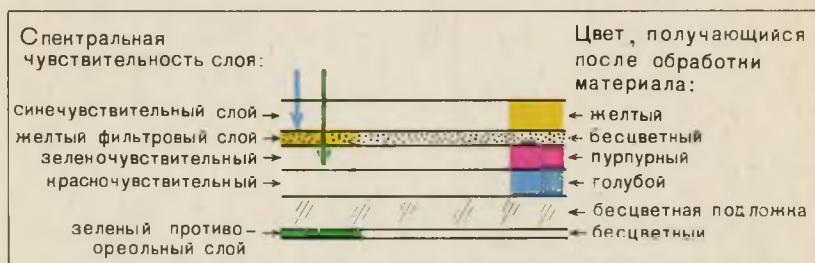
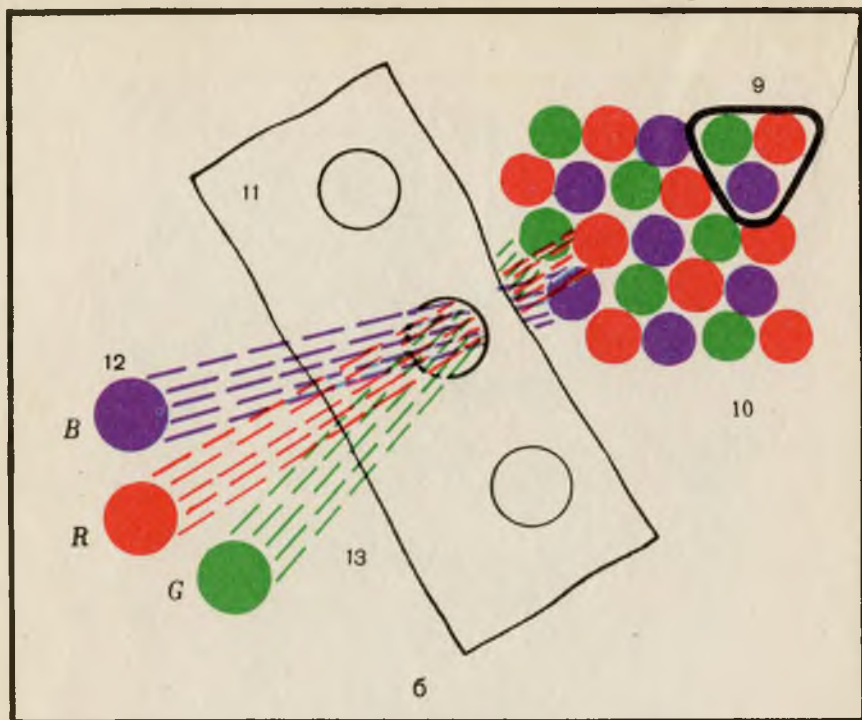


Рис. 87. Устройство и работа трехцветного кинескопа:

6 — прохождение электронных лучей R, G и B через отверстия маски;  
 9 — триада; 10 — мозаичный экран; 11 — маска; 12 — электронные прожекторы;  
 13 — электронные лучи R, G, B

Рис. 88. Схема строения многослойного цветочувствительного материала

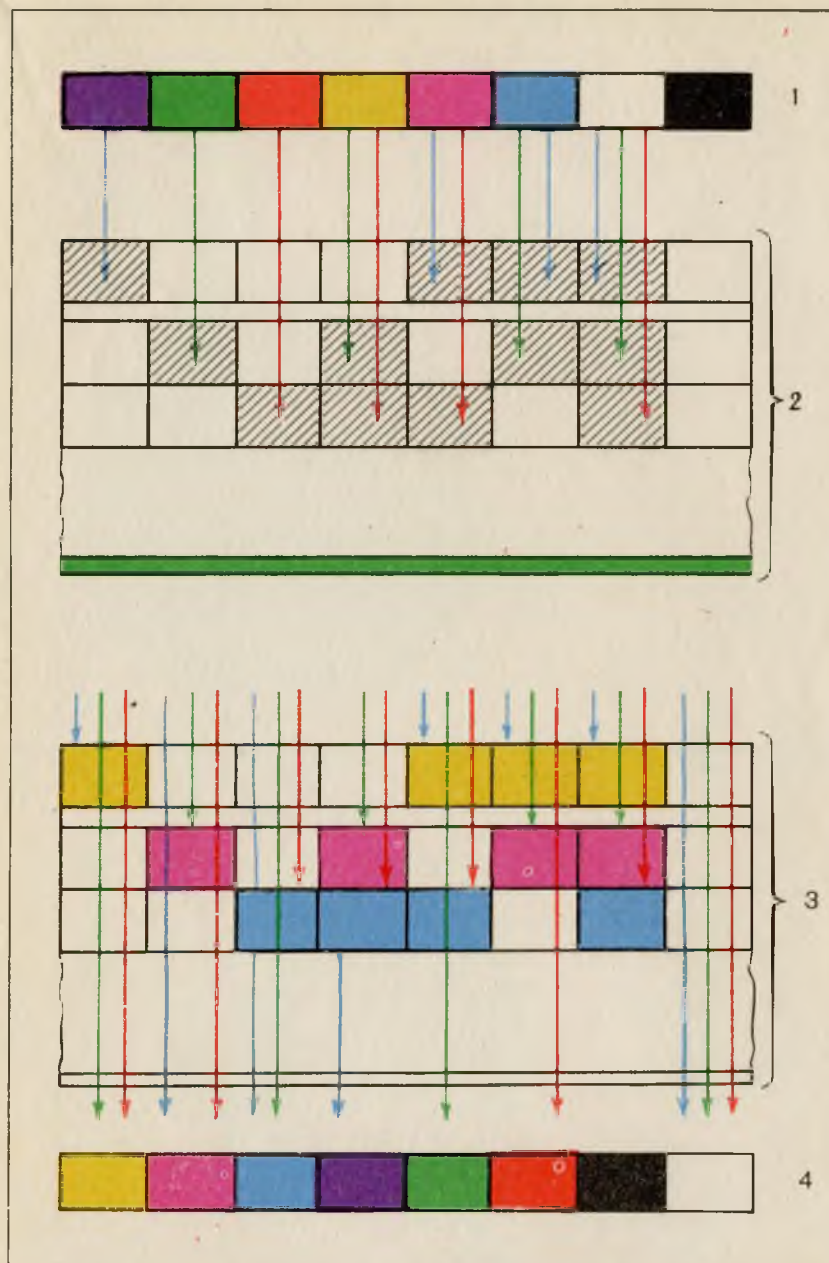
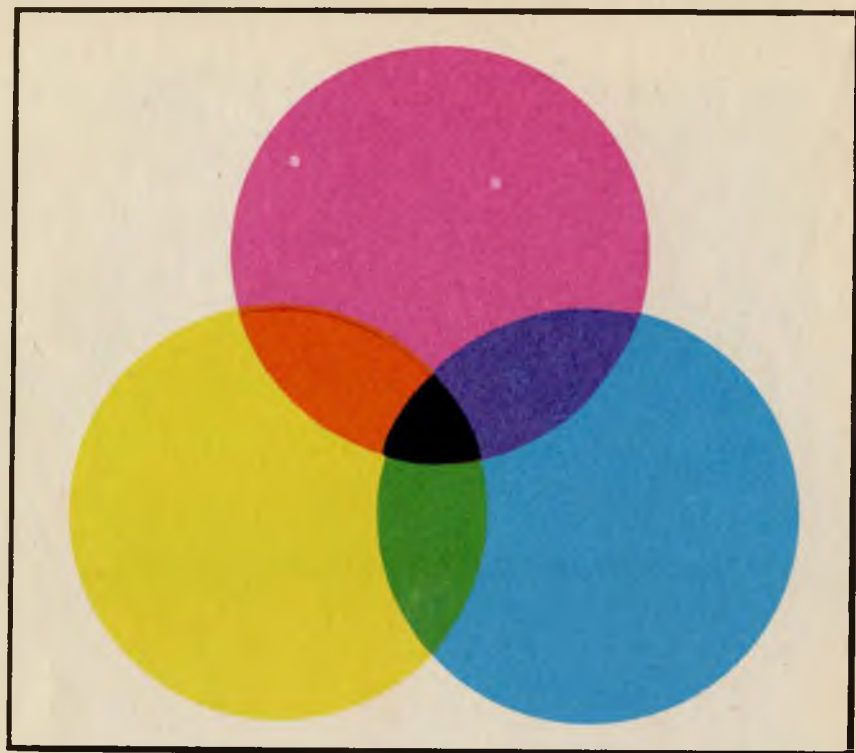


Рис. 89. Схема получения негатива на трехслойной цветной пленке:  
 1 — цветной объект съемки; 2 — образование скрытых цветоделенных негативных изображений при съемке; 3 — образование цветных негативных изображений при цветном проявлении; 4 — цветной негатив



*Рис. 90. Субтрактивное образование цветов*



Рис. 91. Примерная схема образования цветов при избирательном поглощении света (интенсивность лучей пропорциональна длине цветных линий на рисунке)

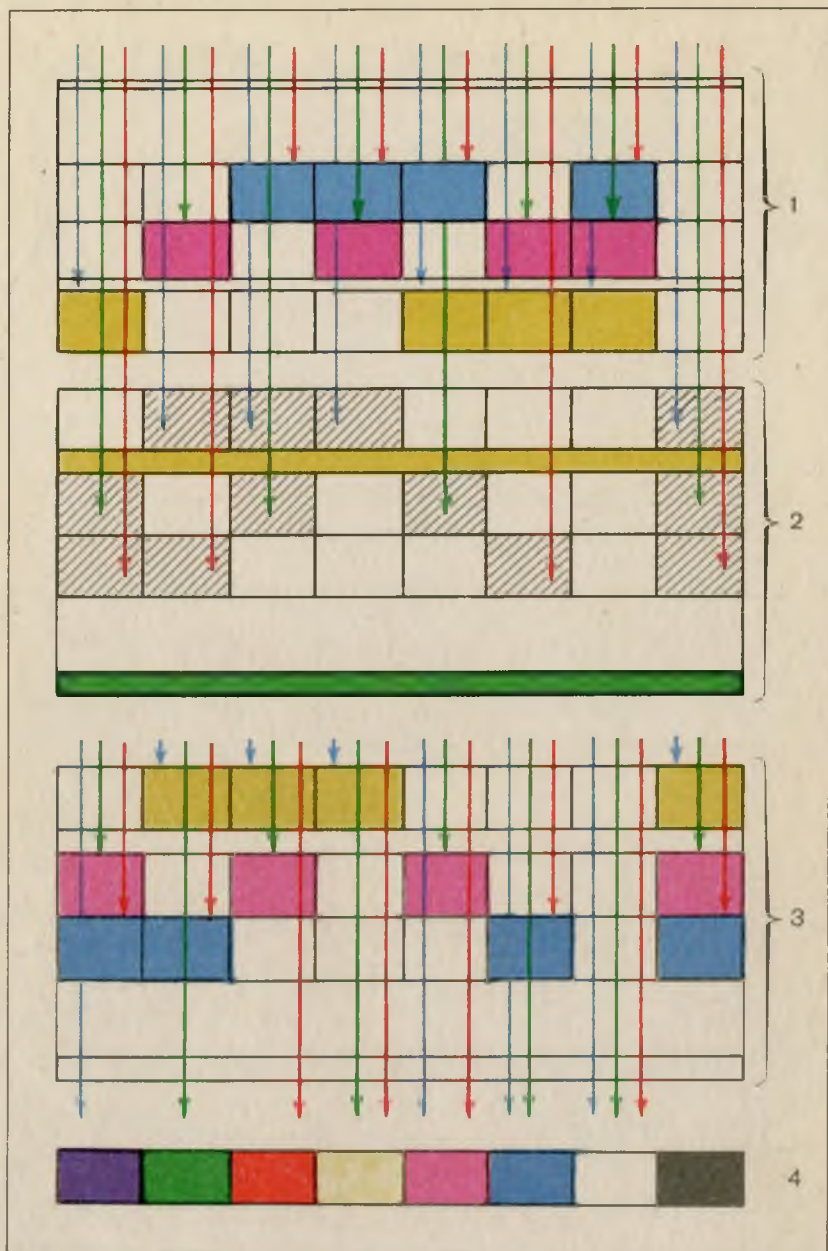


Рис. 92. Схема получения цветного позитива на трехслойной пленке:

- 1 — цветной негатив; 2 — образование скрытых цветных частичных изображений;  
 3 — образование частичных позитивных изображений при цветном проявлении;  
 4 — цветной позитив



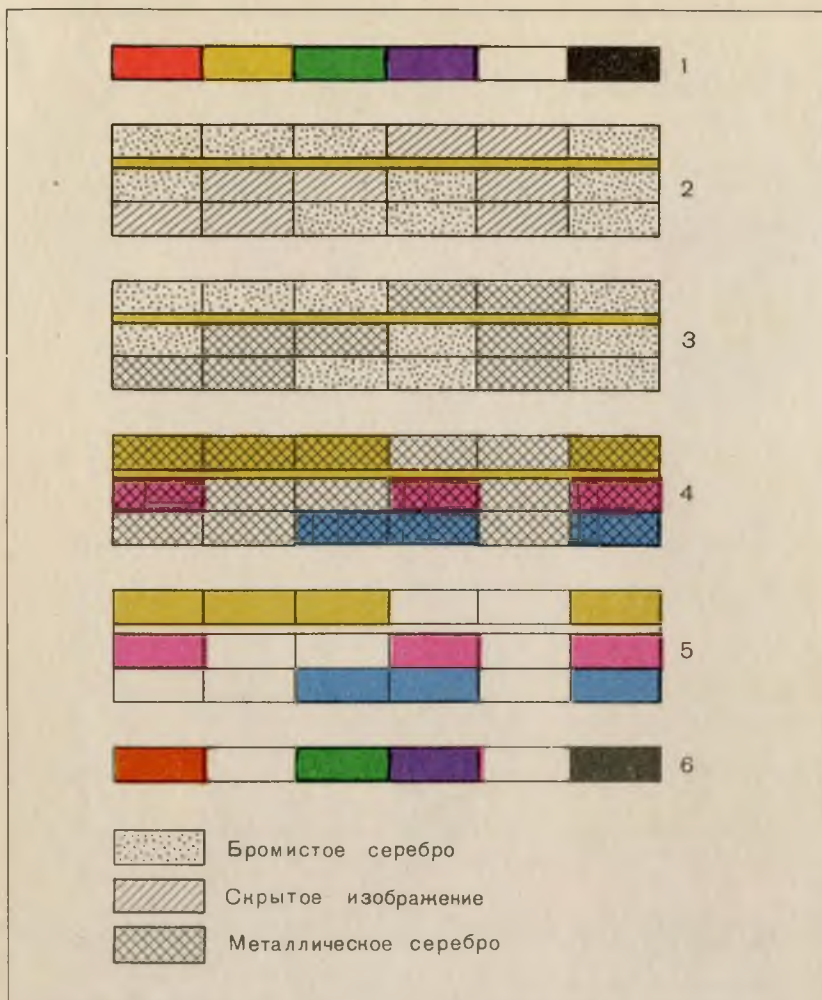
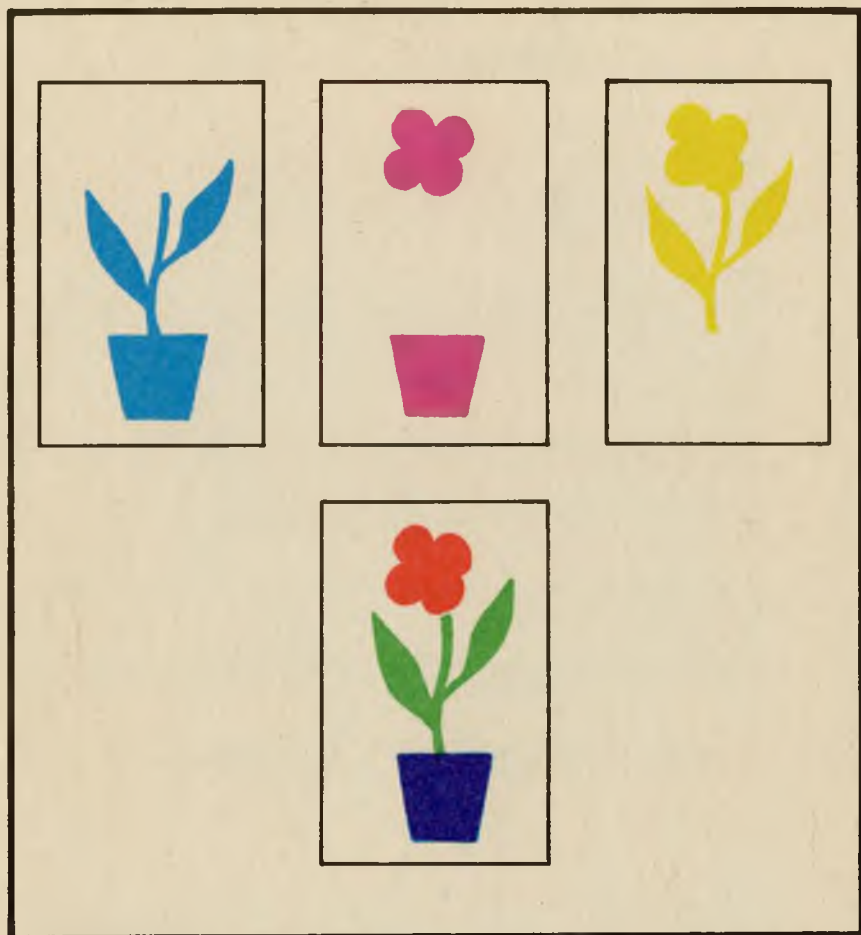


Рис. 93. Схема образования цветного изображения в трехслойной пленке, обработанной по методу обращения:

1 — оригинал; 2 — скрытое изображение в слоях пленки после экспонирования; 3 — изображение в слоях пленки после проявления в черно-белом проявителе; 4 — изображение в слоях пленки после проявления в цветном проявителе; 5 — изображение из красителей в слоях пленки после удаления металлического серебра; 6 — фотокопия



*Рис. 94. Схема воспроизведения многоцветного объекта по субтрактивному методу (в полиграфии)*

шихты от примесей, особенно окиси железа ( $\text{FeO}$  до 0,005%), или путем замены двуокиси кремния ( $\text{SiO}_2$ ) борным ангидридом ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ).

При выполнении большинства видов фото- и киносъемок используют, как правило, светофильтры, данные о которых приведены в табл. 20.

На рис. 68 приведены кривые спектрального пропускания некоторых светофильтров.

Таблица 20

Характеристика светофильтров

Наименование светофильтра	Марка стекла (ГОСТ 9411—66)	Маркировка на оправе (ГОСТ 9411—66)		Ориентировочная кратность для изохроматических пленок (толщина стекла 2 мм)	
		для внутреннего рынка	для экспорта	для дневного света	для света ламп накаливания
Бесцветный	ЖС-10	УФ-1 $\times$	UV-1 $\times$	1	1
Желто-зеленый светлый	ЖЗС-5	ЖЗ-1,4 $\times$	YG-1,4 $\times$	1,4	1,4
Желто-зеленый	ЖЗС-9	ЖЗ-2 $\times$	YG-2 $\times$	2	2
Светло-желтый	ЖС-12	Ж-1,4 $\times$	Y-1,4 $\times$	1,4	1
Желтый	ЖС-17	Ж-2 $\times$	Y-2 $\times$	2	1,4
Оранжевый	ОС-12	О-2,8 $\times$	О-2,8 $\times$	2,8	2
Красный	КС-11	К-5,6 $\times$	R-5,6 $\times$	5,6	4
Светло-голубой	СЗС-17	Г-1,4 $\times$	B-1,4 $\times$	1,4	2
Нейтрально-серый	НС-8	Н-4 $\times$	N-4 $\times$	4	4

Примечание. Значок  $\times$  обозначает кратность светофильтра.

## § 27. КЛАССИФИКАЦИЯ СВЕТОФИЛЬТРОВ

За основу классификации светофильтров приняты различные признаки, чаще всего кривые спектрального поглощения или пропускания.

В зависимости от характера кривой поглощения и от назначения светофильтры разделяют на следующие группы.

1. Селективные светофильтры, или светофильтры спектральных зон, пропускают какую-либо одну довольно широкую зону спектра (рис. 69, б). Внутри этой группы выделяют светофильтры монохроматические, пропускающие весьма узкую зону спектра (рис. 69, а).

2. Субтрактивные светофильтры поглощают сравнительно ограниченную зону спектра и пропускают все остальные лучи (рис. 69, в).

3. Светофильтры для правильной передачи яркостей максимум поглощения имеют в области фиолетовых и синих лучей и

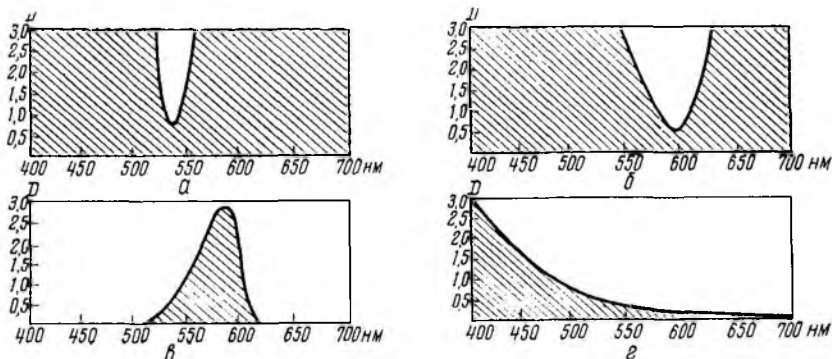


Рис. 69. Кривые спектрального поглощения светофильтров: а — монохроматического; б — селективного; в — субтрактивного; г — компенсационного

в зависимости от плотности окраски более или менее ослабляют голубые лучи. Светофильтры служат для приближения фотографической передачи яркостей многоцветного объекта съемки к визуальному его восприятию (рис. 69, г).

Если за основу классификации взять практические потребности фотографии, то светофильтры можно разделить на следующие группы: 1) светофильтры для правильной передачи яркостей (компенсационные); 2) светофильтры для искаженной передачи яркостей; 3) светофильтры для цветной фотографии; 4) светофильтры защитные; 5) светофильтры специальных назначений.

**Кратность светофильтра.** Любой светофильтр поглощает часть лучей, идущих от объекта съемки, и тем самым снижает освещенность фотоматериала. Чтобы получить нормально экспонированный негатив, необходимо либо увеличить освещенность объекта или фотоматериала, либо увеличить время выдержки.

Число, указывающее, во сколько раз необходимо увеличить освещенность фотоматериала или время выдержки при съемке со светофильтром по сравнению со съемкой без светофильтра, называется кратностью светофильтра.

Значение кратности светофильтра не является величиной постоянной и зависит от спектральной чувствительности используемого фотоматериала, спектрального состава света, освещающего объект съемки, и от спектрального коэффициента отражения поверхности объекта съемки. Постоянной величиной, которая влияет на кратность, является спектральный коэффициент пропускания светофильтра.

По спектральному составу свет лампы накаливания значительно отличается от дневного света преобладанием излучения в длинноволновой части спектра. Следовательно, светофильтры желтого, оранжевого и красного цвета будут поглощать меньше

энергии сравнительно со спектром дневного света и кратность их в данных условиях окажется ниже. Это отражено и в инструкциях по применению фотопленок.

Светофильтры синего и голубого цвета будут иметь большую кратность при освещении светом ламп накаливания по сравнению с дневным светом.

Кратность светофильтра зависит также и от спектральной характеристики части объекта съемки, преобладающей по площади кадра. Поэтому при съемке желтого песка, зелени кратность желтого светофильтра меньше, чем при съемке (в тех же условиях) сюжетов с преобладанием воды и голубого неба. В большинстве случаев следует ориентироваться на кратность светофильтров по отношению к белому цвету (по которому они и маркируются), содержащему в своем составе на  $\frac{1}{3}$  красного, зеленого и синего цвета при освещении объекта дневным светом.

При использовании фотоматериалов различной спектральной чувствительности, а также светофильтров с неизвестной для данных условий кратностью рекомендуется провести пробную фотосъемку. Очень удобно при съемке пользоваться стандартными цветными таблицами, на которых, помимо основных насыщенных цветов спектра, имеется и ахроматическая шкала. По яркости позитивного изображения полей различных цветовых тонов можно ориентировочно судить о спектральной чувствительности черно-белого негативного материала. При этом можно провести параллельную съемку на материалах с известной спектральной чувствительностью. При анализе результатов большую помощь окажут спектрограммы\*.

Для определения величины кратности светофильтра на испытуемом материале производят съемку (возможно крупнее) ахроматической шкалы с правильной экспозицией, затем со светофильтром фотографируют серию кадров с возрастающей выдержкой в 1,5, 2, 3, 4, 5 и т. д. раз. Негативы обрабатывают одновременно. После сушки из числа негативов, снятых со светофильтром, выбирают такой, плотность полей которого равна плотности полей негатива, снятого без светофильтра. По записям условий съемки устанавливают примерную кратность светофильтра.

*Светофильтры для правильной передачи яркостей.* Принято считать, что белый дневной свет содержит в своем составе по 33,3% синего, зеленого и красного цвета. На зональных диаграммах (рис. 70) показаны участки спектра — синий, зеленый, красный. Если бы имелся приемник света, равночувствительный ко всем лучам спектра, то его реакция на свет была бы пропорциональна суммарной величине энергии независимо от спектрального состава. Однако существующие приемники световой

---

\* См., например, Крауш Л. Я. Фотографические материалы. М., «Искусство», 1971, с. 38.

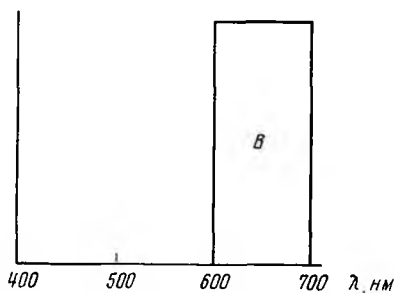
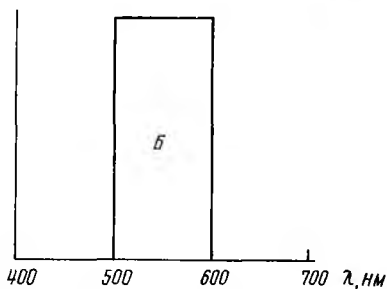
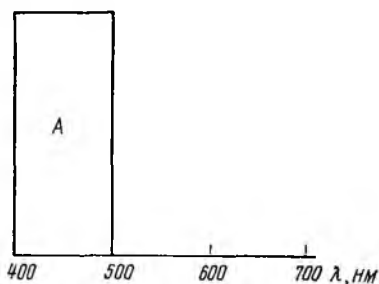


Рис. 70. Зональные диаграммы цветов одинаковой энергетической яркости:

А — синего; В — зеленого; В — красного

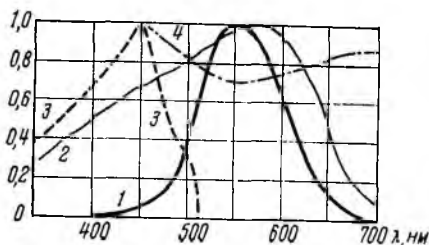
Рис. 71. Спектральная чувствительность различных приемников света: 1 — кривая видности газа; 2 — кривая спектральной чувствительности селенового фотозлемента, приведенная к равноэнергетическому спектру; 3 — спектральная чувствительность позитивной пленки; 4 — спектральная чувствительность изопанхроматической пленки

энергии по-разному реагируют на свет с различной длиной волны. На рис. 71 показана спектральная чувствительность различных приемников света.

Яркость цвета принято называть по роду приемника, реагирующего на нее. Если приемником является глаз, то говорят о визуальной яркости цвета, если фотоэлектрический экспонометр — то о фотометрической яркости, если фотослой пленки — то о фотографической яркости.

На ахроматическом (черно-белом) отпечатке различные по цветовому тону объекты будут переданы различными по плотности участками. Чем больше реагирует светочувствительное вещество фотоматериала на излучение данной длины волны, тем плотнее в негативном (светлее в позитивном) изображении будет передан участок, излучающий или отражающий данные лучи.

При фотографической передаче окружающего нас мира точность воспроизведения яркостей объектов сравнивается обычно с визуальным впечатлением, получаемым при рассматривании объектов. Так как критерием оценки яркостей в данном случае является кри-



вая видности глаза, то задачей правильной передачи яркостей цветных объектов будет воспроизведение, близкое к визуальному восприятию.

В оптимальном варианте это условие выполнялось бы при наличии фотоматериалов, спектральная чувствительность которых совпадала бы (или была близка) с кривой видности глаза. Однако спектральная чувствительность имеющихся фотоматериалов далеко не совпадает с кривой видности глаза. Следовательно, в данном случае задача будет заключаться в том, чтобы, изменяя один или несколько факторов, влияющих на передачу яркостей, приблизить фотографическое воспроизведение к визуальному восприятию.

В спектре дневного света глаз воспринимает как наиболее яркие желто-зеленые лучи, максимум чувствительности глаза приходится на лучи с длиной волны 556 нм. Оранжевый цвет воспринимается менее ярким, чем желтый, еще более темными кажутся голубые, синие, красные и особенно фиолетовые лучи. Сравнивая кривую видности глаза с кривыми спектральной чувствительности фотоматериалов, отметим прежде всего, что все фотоматериалы имеют повышенную чувствительность к лучам коротковолновой зоны спектра (фиолетовые, синие, голубые цвета).

Как следствие этого, объекты, излучающие или отражающие коротковолновые лучи, бывают изображены на фотографии более светлыми, чем они воспринимаются глазом. Безоблачное небо на фотографии порой бывает передано светлее желтого песка.

Расхождения в длинноволновой зоне спектра зависят от степени сенсibilизации фотоматериала. Например, у панхроматических и особенно у изопанхроматических фотоматериалов чувствительность к красным лучам намного превосходит чувствительность глаза. Это означает, что объекты красного цвета будут переданы на фотографии светлее, чем их воспринимает глаз. Это бывает заметно, к примеру, на фотопортретах: изображение губ почти совпадает по светлоте с изображением кожи лица.

Если спектральную чувствительность фотоматериалов с галогенидами серебра в области длинноволновых лучей можно регулировать посредством применения различных сенсibilизаторов, то изменять их спектральную чувствительность в области коротковолновых лучей в процессе изготовления пока не представляется возможным.

В частности, исследователи пытаются решить заманчивую идею — убрать чувствительность фотоэмульсии позитивных фотоматериалов к видимым лучам коротковолновой части спектра. Тогда появится возможность печатать позитивные копии ультрафиолетовыми лучами с последующей обработкой их при дневном освещении, используя в качестве фильтров оконное стекло, защищающее позитивный материал от ультрафиолетового излучения Солнца.

На сегодня остаются два способа изменения эффективной спектральной чувствительности в области коротковолновых лучей — изменение спектрального состава света, освещающего объект съемки, и изменение спектрального пропускания оптики — применение светофильтров.

При съемке вне помещения в распоряжении фотографа имеются светофильтры. Для повышения яркости детали цвет фильтра должен совпадать или быть близким к окраске детали, для понижения яркости детали цвет светофильтра должен быть дополнительным. Изменение яркостей отдельных объектов в кадре, например неба, достигается посредством оттененных светофильтров, окрашенных только частично — на  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$  часть.

Выбор цвета светофильтра легко сделать, пользуясь цветовым кругом. Например, чтобы определить цвет светофильтра для снижения яркости синих и голубых лучей (цвет безоблачного неба), найдем в цветовом круге противоположный цвет — желтый. Чем плотнее окраска светофильтра, тем заметнее производимый эффект. Это подтверждается и кривыми пропускания светофильтров с различной концентрацией красителя (рис. 72).

Ослабление светофильтрами света на отдельных участках спектра равносильно уменьшению чувствительности фотослоя на этих участках.

В каких случаях при натуральных съемках желательно использовать компенсационные светофильтры? Для этого вкратце рассмотрим спектральные характеристики основных элементов: почвы, зелени, цветов, голубого неба и белых облаков, воды.

Наиболее часто встречаются почвы от желтого до красного цвета различной насыщенности и светлоты. Сюда входят и все коричневые цвета — от светлых до почти черных. Влажные почвы всегда темнее, чем сухие. Кривые спектрального отражения (рис. 73, кривые 1, 2) характерны не только для почв, но практически и для булыжника, асфальта, бетона, старого дерева и т. д.

Цвет листьев различных типов растений заметно отличается и изменяется в зависимости от времени года. Почти как и цвет всех других природных объектов, цвет листьев несколько меняется в зависимости от направления освещения и наблюдения. Желто-зеленые лучи отражаются от листьев в два-три раза лучше, чем лучи других цветов. Особенно сильно отражают зелень инфракрасные лучи, однако они не воспринимаются глазом и на цвет зелени не влияют (рис. 73, кривая 3).

Наибольшим разнообразием окраски природных поверхностей обладают лепестки цветов (рис. 74). По своей насыщенности они уступают лишь некоторым современным красителям.

Из приведенной спектральной характеристики голубого неба (рис. 73, кривая 4) видно, что интенсивность фиолетовых лучей примерно в три раза больше, чем красных, и это сочетание спектральных цветов производит впечатление голубого цвета. Спек-



Рис. 72. Кривые, показывающие зависимость спектрального пропускания зеленого светофильтра от толщины стекла:

1 — стекло ЗС-1 толщиной 1 мм; 2 — стекло ЗС-2 толщиной 2 мм

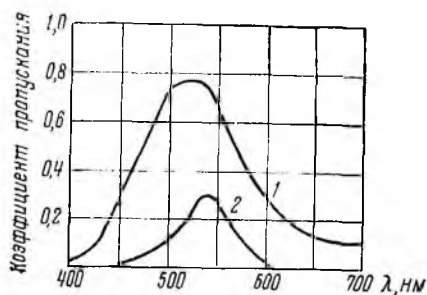


Рис. 73. Кривые спектрального отражения:

1 — сухих почв; 2 — влажных почв; 3 — зеленых листьев; 4 — кривая спектрального рассеяния света голубым небом в зените; 5 — кривая отражения света белыми облаками

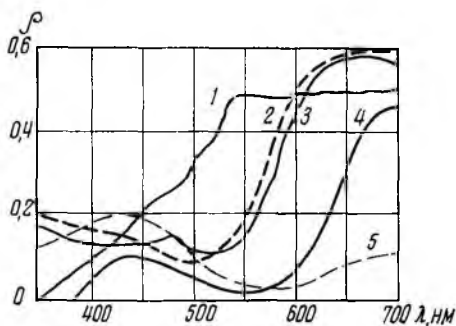
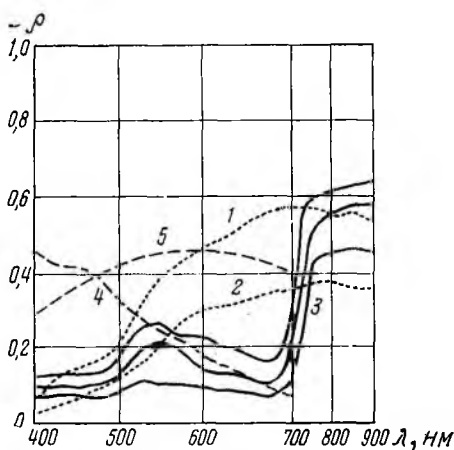
Рис. 74. Кривые отражения лепестков цветов:

1 — одуванчик желтый; 2 — гладиолус ярко-оранжевый; 3 — мак красный; 4 — гладиолус вино-красный; 5 — василек синий

тральная характеристика белых облаков (рис. 73, кривая 5) показывает некоторое преобладание средне- и длинноволновой частей спектра.

Цвет воды зависит от большого числа факторов (чистоты воды, наличия в ней различных мелких растительных и живых существ) и от бесцветного может переходить через различные оттенки зеленого до темно-синего. Когда поверхность воды гладкая, в ней наблюдатель четко видит отражение неба и облаков отдельно от воды и не смешивает с цветом воды. Однако цвет неба влияет на передачу яркости поверхности воды в фотографии, особенно когда поверхность воды покрыта рябью и отражение неба смешивается с цветом воды.

На существующих сегодня галогенидосеребряных фотоматериалах яркость зем-



ли, зелени и большинства цветов может быть вполне удовлетворительно передана без желтого светофильтра. И лишь только при включении в кадр голубого неба или воды, отражающей цвет неба, для передачи яркостей близко к их восприятию глазом потребуется желтый или желто-зеленый светофильтр. На различии спектральных характеристик голубого неба и белых облаков основаны рекомендации по применению светофильтров (от желтых до красных) для притемнения неба и выделения облаков.

Эффект, производимый светофильтром, зависит от кривой пропускания светофильтра и от величины экспозиции. Чем больше плотность светофильтра и чем меньше выдержка (до некоторого предела), тем сильнее эффект. В пейзажной фотографии не всегда ставится цель правильно воспроизвести яркость различных элементов, определенные отступления ведут к достижению желаемых результатов.

Спектральный состав дневного света меняется в течение дня. Так, например, свет при закате Солнца по спектральному составу очень близок к спектральному составу лампы накаливания. Понятно, что результат применения светофильтров в данном случае будет иным, чем в полдень.

Для улучшения передачи яркости деталей пейзажа используют компенсационные светофильтры, обычно желтый светофильтр Ж-1,4<sup>×</sup> (марка стекла ЖС-12), ЖЗ-1,4<sup>×</sup> (марка стекла ЖЗС-5), Ж-2<sup>×</sup> (марка стекла ЖС-17), ЖЗ-2<sup>×</sup> (марка стекла ЖЗС-9) (см. рис. 68).

Желтый светофильтр Ж-1,4<sup>×</sup> частично задерживает синие лучи, тем самым выделяет облака на синем небосводе и тени на снегу при солнечном освещении; очень эффективен при съемках в горах. Применение более темных фильтров ведет к сильному снижению яркости неба; требует открытия диафрагмы на полступени (для сохранения величины экспозиции); при свете ламп накаливания практически бесполезен.

Желто-зеленый светофильтр ЖЗ-1,4<sup>×</sup> является универсальным и может быть использован во многих случаях съемки ландшафтов и портретов. Он приближает спектральную чувствительность негативных материалов панхроматической и изопанхроматической сенсibilизации к кривой видности глаза, частично задерживает синие и красные лучи, правильно передает тональность зеленых и многокрасочных природных объектов, хорошо выделяет облака; при портретной съемке оттеняет губы при дневном и искусственном освещении, способствует передаче загара кожи; при съемке снежных ландшафтов в солнечный день хорошо передает тени на снегу; требует открытия диафрагмы на полступени.

Желтый светофильтр Ж-2 задерживает синие лучи сильнее, чем Ж-1,4<sup>×</sup>. По показаниям к применению схож со светлым желтым светофильтром, но эффективнее его. Требуется открытия диафрагмы на одну ступень или уменьшения выдержки в два раза.

Желто-зеленый светофильтр ЖЗ-2<sup>×</sup> в отличие от ЖЗ-1,4<sup>×</sup> сильнее поглощает красные лучи; при портретной съемке оттеняет губы, способствует передаче загара кожи; рекомендуется для съемок в тех случаях, когда в кадре много зелени, а также для репродуцирования многоцветных оригиналов на изопанхроматических материалах.

Кроме перечисленных, в обиходе встречается сравнительно большее число светофильтров более ранних выпусков. По своим характеристикам они, как правило, близки к выпускаемым в настоящее время. Перед началом работы желательно их проверить хотя бы на спектрографе и методом сравнительной съемки.

*Светофильтры для искаженной передачи яркостей.* В фотографии иногда возникает необходимость передать изображение в искаженном виде (в смысле визуальной яркости отдельных деталей). В исследовательской, судебной, микроскопической фотографии требуется выделить или убрать какую-либо деталь, выявить наличие или отсутствия деталей или структур, не наблюдаемых глазом или наблюдаемых с другим соотношением яркостей.

В таких случаях используются селективные, монохроматические и субтрактивные светофильтры. Как правило, светофильтр должен иметь узкую полосу пропускания. Область пропускания светофильтра должна быть подобрана в соответствии со спектральными свойствами детали, передача яркости которой должна быть повышена или понижена.

Для подбора и изготовления таких светофильтров нет строгих правил, важно, чтобы он поглощал свет того цвета, который должен быть передан темным. Цвет светофильтра нужен тем насыщенней, чем нежнее и тоньше окраска детали.

Синие светофильтры применяются при микрофотографировании на репродукционных и диапозитивных пластинках для увеличения контраста бесцветных препаратов. Светофильтр СС-1 при освещении от лампы накаливания придает препарату окраску, сходную с окраской от дневного света.

Зеленые светофильтры увеличивают контраст препаратов, имеющих красную окраску.

Желто-зеленые и желтые светофильтры дают большую контрастность, чем зеленые. Наибольшая контрастность достигается при фотографировании с оранжевыми светофильтрами.

Оранжевый светофильтр О-2,8<sup>×</sup> (марка стекла ОС-12) задерживает фиолетовые, синие, голубые, зеленые лучи; пропускает желтые, оранжевые, красные; синие и зеленые предметы получаются очень темными, оранжевые и красные — светлыми; при съемке ландшафта почти полностью убирает воздушную дымку, иногда применяется при портретной съемке для ослабления веснушек и высветления смуглой кожи; голубые глаза при его применении выходят преувеличенно темными, а светлые волосы — почти белыми; применяется для увеличения контраста при репродуцировании «синек» и текстов, написанных синими черни-

лами; требует открытия диафрагмы на полторы ступени при освещении объекта дневным светом и на одну — при съемке с лампами накаливания.

Красный светофильтр К-5,6 $\times$  (марка стекла КС-11) задерживает полностью все лучи до зеленых включительно, примерно в пять раз ослабляет желтые, мало ослабляет оранжевые и полностью пропускает красные. Синие и зеленые предметы при его применении передаются очень темными, красные — очень светлыми; при съемке ландшафта сильно притемняет небо и способствует съемке солнечным днем «под лунную ночь»; эффектно передает светлые архитектурные сооружения или заиндевелые ветви на фоне почти черного неба; устраняет веснушки, а также разницу между загоревшей и незагоревшей кожей; применяется с длиннофокусными объективами для устранения воздушной дымки; требует открытия диафрагмы на две с половиной ступени при съемке днем.

Голубой светофильтр Г-1,4 $\times$  (марка стекла СЗС-17) задерживает очень слабо фиолетовые, синие и голубые лучи, зеленые ослабляет в два, а желто-красные — в три раза; применяется для усиления эффекта воздушной дымки; в портрете оттеняет губы; требует открытия диафрагмы при дневном освещении на полступени, при свете ламп накаливания — на одну ступень.

Синий светофильтр (марка стекла СС-4) практически не задерживает фиолетовые лучи, примерно в три раза ослабляет синие и полностью задерживает зелено-красные лучи.

Влияние приведенных светофильтров на передачу яркостей элементов пейзажа следующее: оранжевый и красный — почва светлеет, зелень и небо темнеют; голубой и синий — почва и зелень темнеют, небо светлеет.

*Светофильтры для цветной фотографии.* При фотосъемке происходит разделение цветов объекта на зональные составные части для их регистрации на отдельных фотослоях с целью получения трех цветоделенных негативов. Для цветоделения применяются два метода — метод светофильтров и метод спектральной сенсбилизации. Метод светофильтров сегодня используется только при репродуцировании многоцветных оригиналов в полиграфии, раньше он использовался даже при съемке на натуре специальными фотоаппаратами.

Практической основой всех способов цветной фотографии является положение, заключающееся в том, что спектр состоит из трех зон — красной, зеленой, синей, и окраска почти всех тел образуется из смешения этих цветов. Для анализа цвета служат светофильтры, пропускающие  $\frac{1}{3}$  спектра, и поэтому их цвет соответствует трем основным цветам.

Для трехцветной фотографии нет необходимости в монохроматических светофильтрах. При зоне пропускания около 100 нм цветопередача получается достаточно хорошей. Эти светофильтры (рис. 75) могут использоваться как селективные.

Рис. 75. Кривые спектрального поглощения селективных светофильтров:

1 — синего; 2 — зеленого; 3 — красного

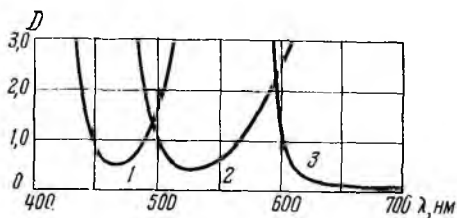
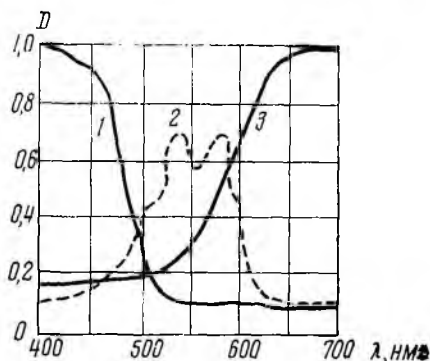


Рис. 76. Кривые спектрального поглощения субтрактивных светофильтров:

1 — желтого; 2 — пурпурного; 3 — голубого



Селективные и монохроматические светофильтры — красный, зеленый, синий — применяются также при печати позитивов по аддитивному способу. По субтрактивному способу печатают позитивы, используя корректирующие светофильтры (рис. 76).

#### Светофильтры защитные.

Защитными называются светофильтры, предохраняющие обрабатываемый материал в течение необходимого времени от воздействия актиничных лучей. Выбор светофильтра определяется спектральной чувствительностью обрабатываемого материала. Светофильтр должен пропускать только те лучи спектра, к которым данный материал не чувствителен или имеет минимальную чувствительность. Так, например, позитивные фотоматериалы реагируют только на коротковолновую часть спектра (см. рис. 74, кривая 3), поэтому цвет защитных светофильтров может быть красным, оранжевым, желтым, желто-зеленым (рис. 77). Учитывая, что максимум чувствительности глаза приходится в области желто-зеленых лучей, следует выбрать это освещение для копировальной лаборатории.

Панхроматические материалы имеют наименьшую чувствительность в области зеленых лучей, поэтому при обработке их и допускается только слабое темно-зеленое освещение.

Чем плотнее окраска защитного светофильтра, тем, как правило, больше гарантий относительно неактиничности освещения, но тем труднее вести визуальный контроль за обработкой. Поэтому, где только возможно, следует реализовывать вариант «более яркое освещение лаборатории при минимальном времени освещения обрабатываемого материала». Это желательно еще и потому, что абсолютно неактиничного освещения не может быть и за достаточно длительный срок наблюдаются эффекты взаимодействия неактиничного света с галогенидосеребряными эмуль-

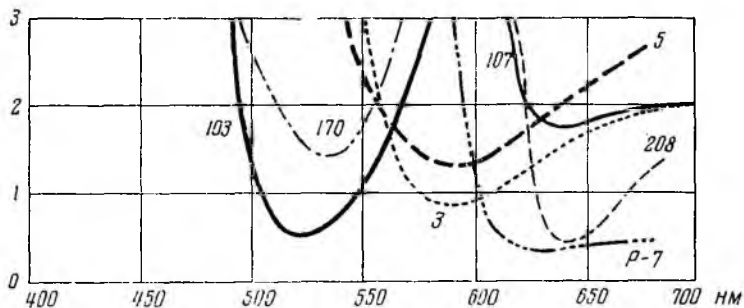


Рис. 77. Кривые спектрального пропускания светофильтров для обработки фотоматериалов:

3, 5 — желто-оранжевый — позитивные пленки, диапозитивные пластинки; P-7 — светло-красный — репродукционные пластинки несенсибилизированные; бромосеребряная фотобумага общего назначения; 107 — красный — изохроматические пластинки и пленки; 208 — темно-красный — изохроматические пластинки и пленки; 103, 170 — темно-зеленый — панхроматические фотослои

сиями, выражающиеся в виде вуали, в виде ослабления или усиления скрытого изображения и др. Поэтому время пребывания данного материала под неактивным освещением должно определяться только технологическими потребностями процесса обработки или контроля в процессе обработки.

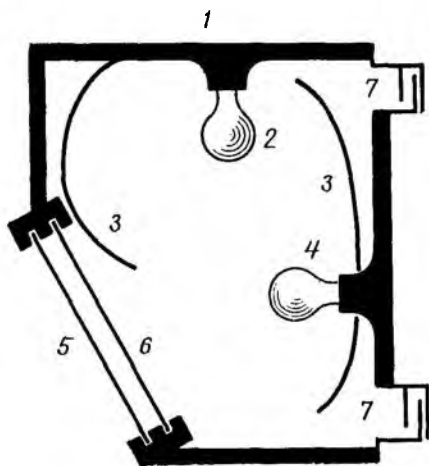
**Проверка качества защитных светофильтров.** Время, в течение которого обрабатываемый материал может без вредных последствий освещаться излучением, прошедшим через фильтр, зависит от ряда факторов: спектральной кривой пропускания светофильтра, типа источника света, положения источника света по отношению к светофильтру, расстояния между осветительным прибором и фотоматериалом, видом используемого освещения (прямое или отраженное), условиями и длительностью эксплуатации светофильтра.

О влиянии света, пропускаемого светофильтром, на обрабатываемый материал можно примерно составить представление из сопоставления кривых пропускания (или поглощения) светофильтра и спектральной чувствительности фотоматериала.

Чем дальше зона пропускания светофильтра от крайней справа границы спектральной чувствительности и чем круче кривая пропускания, тем надежнее будет освещение.

Лабораторные фонари имеют различную конструкцию. Для местного освещения рабочего места наилучшей следует признать такую конструкцию, при которой лампочка находится не напротив фильтра и рабочее место освещается отраженным светом. Освещенность при этом снижается. Поэтому для случаев, когда требуется повысить освещенность, можно на короткое время включить вторую лампу (рис. 78). Во всех случаях желательно внутри фонаря перед светофильтром укреплять матовый фильтр,

*Рис. 78. Принципиальная конструкция лабораторного фонаря:*  
 1 — корпус; 2 — лампа, освещающая отраженным светом; 3 — отражатель; 4 — лампа, освещающая прямым светом; 5 — светофильтр; 6 — матовое стекло; 7 — вентиляционные отверстия



так как нить лампочки очень ярка. Матовый фильтр будет выполнять и роль теплофильтра, предохраняя желатиновый светофильтр от растрескивания.

В фонаре необходимо предусмотреть вентиляцию и возможность легкой замены светофильтра.

Освещенность рабочего места обратно пропорциональна квадрату расстояния между фонарем и рабочим местом. Надежность освещения выше, если свет от фонаря направить на потолок, светлую стену, белый экран. Освещенность рабочего места должна быть не ниже 20—30 лк.

Со временем под воздействием света и тепла красители светофильтров постепенно разрушаются и для полной уверенности в качестве защитного светофильтра его необходимо систематически проверять.

В руководствах по фотографии предлагаются различные способы проверки качества защитного светофильтра. Их можно разделить на визуальный способ (спектроскопический) и практический.

Визуально оценивается сохранность светофильтра, отсутствие трещин в желатиновом окрашенном слое, отсутствие более светлого по окраске пятна на ближайшем к лампе участке. В связи с тем что глаз не различает спектральных составляющих, а только суммарный цвет, то спектроскопическая оценка даст более точные результаты.

В помещении, освещаемом только фонарем, направляют спектроскоп на светофильтр и проверяют спектр пропускаемого фильтром света. При этом необходимо, чтобы глаза наблюдателя были адаптированы к низкому уровню освещенности, так как яркость лучей (особенно коротковолновой зоны спектра) низкая. Даже при контроле через спектроскоп глаз может не заметить пропускаемых светофильтром фиолетовых лучей. Поэтому в ряде случаев проверку целесообразно завершить практическим способом. Он имеет то достоинство, что позволяет определить максимальное время пребывания данного фотоматериала под светом фонаря в конкретных условиях рабочего места.

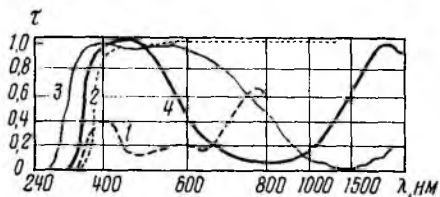


Рис. 79. Кривые спектрального пропускания светофильтров:

1 — нейтрального НС-3; 2 — ультрафиолетового БС-8; 3 — теплозащитного СЗС-14; 4 — теплозащитного СЗС-7

В темноте фотоматериал закрепляют в кассете  $9 \times 12$  или  $13 \times 18$  см и кладут ее в таком положении, в каком она будет находиться при работе. Включают фонарь, замечают время и через определенные интервалы на 1—2 см открывают крышку кассеты. Последний участок материала не должен подвергаться освещению. Выключают неактиничное освещение и обрабатывают материал по принятому режиму. После переноса материала в фиксаж можно снова включить неактиничное освещение. После промывки и сушки производится оценка влияния неактиничного освещения на данный фотоматериал.

Сравнивая белизну или прозрачность участка, не подвергавшегося лабораторному освещению, с соседними, находят участок, на котором влияние освещения выражается в едва заметном потемнении слоя (вуаль). Подсчитывают время. Оно будет предельным для данных условий.

Если время, прошедшее до образования вуали, меньше времени, требующегося на обработку фотоматериала, то следует принять меры к увеличению безопасного времени (сменить лампу на менее мощную, отдалить фонарь от рабочего места и т. д.).

Если время значительно больше того, что необходимо на технологический процесс обработки, то желательно повысить освещенность, приблизив фонарь или сменив светофильтр на более прозрачный. Правда, в последнем случае может потребоваться новая проверка.

В конечном счете следует учитывать и другие факторы, которые могут внести некоторые изменения в результаты оценки.

*Светофильтры специальных назначений.* К этой группе можно отнести светофильтры для колориметрии, для приближенного определения цветовой температуры, для съемки сквозь мутную среду, если эта среда обладает избирательным рассеянием света (слой воздуха), светорассеивающие фильтры, а также нейтральные, теплозащитные и поляризационные светофильтры. Последние три имеют наибольшее применение в практической фотографии (рис. 79).

Нейтральные светофильтры почти равномерно ослабляют свет по всей видимой части спектра. Нейтральный светофильтр Н-4  $\times$  применяется для снижения значения светочувствительности черно-белых и цветных фотоматериалов в четыре раза. Используется он в основном при киносъемках.

Ультрафиолетовый светофильтр УФ-1\* предназначен для за-



щиты светочувствительного материала от вредного воздействия ультрафиолетового излучения. Оно наиболее интенсивно в полуденное время, в высокогорных районах, на море и в других местах с чистым воздушным бассейном. Влияние излучения сказывается в пониженной резкости изображения на пленке, а также в излишней синеве изображения на цветной обрабатываемой пленке. Применяют светофильтр при съемках на черно-белые и цветные пленки.

Теплозащитные светофильтры СЗС не пропускают инфракрасные лучи. Используются, в частности, в кинопроекторах для защиты от тепла неподвижной кинопленки во время демонстрации изображения кадрика.

Поляризационный светофильтр незначительно изменяет спектральный состав света. Предназначен он для полного или частичного гашения бликов от неметаллических блестящих поверхностей, для снижения яркости неба в солнечный день; неэффективен при съемке против света, при положении источника света сзади и в пасмурный день. Два последовательно надетых светофильтра могут быть использованы как нейтральные переменной плотности. Используется при съемках на цветные и черно-белые фотоматериалы. Кратность этого фильтра переменная, минимальное значение составляет около 2,8\* как для дневного света, так и для света ламп накаливания.

## Глава VII. ЦВЕТОДЕЛЕНИЕ И ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

### § 28. ОСНОВНОЙ ПРИНЦИП ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ

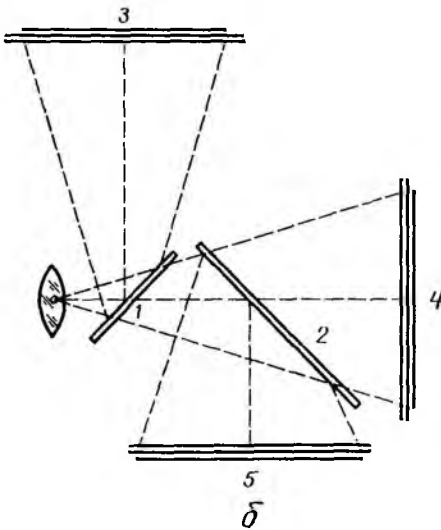
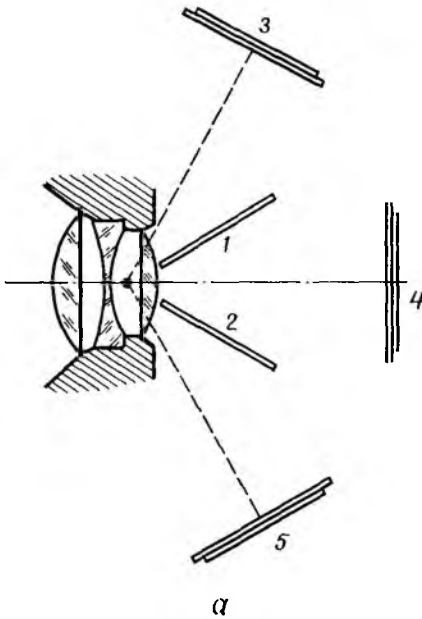
Так как ощущение многоцветных объектов возникает в результате возбуждения рецепторов, то путем смешения трех основных цветов — красного, зеленого и синего — можно воспроизводить все другие цвета.

Решение задачи складывается из трех операций: 1) анализ цвета, т. е. определение всех монохроматических основных цветов, составляющих окраску или излучение предметов, входящих в кадр; 2) регистрация яркостных различий в объекте съемки — градационная стадия; 3) построение общего многоцветного изображения из трех однокрасочных изображений — стадия синтеза.

Все многочисленные способы цветной фотографии базируются в основном на двух способах анализа цвета снимаемых объектов: 1) способ одновременной или последовательной съемки на три негатива соответственно за тремя светофильтрами — красным, зеленым и синим. Эмульсия фотоматериала должна быть чувствительна к лучам, проходящим через светофильтр;

Рис. 80. Схемы трехцветных камер:

а — фирмы «Иос-Пе» (Гамбург); б — по Нашу



2) способ съемки, при котором анализ цвета осуществляется за счет различий в спектральной чувствительности фотослоев, сложенных вместе или политых последовательно на одну подложку. Правда, при использовании многослойных пленок между первым и двумя другими эмульсионными слоями находится желтый фильтровый слой.

Практическое воплощение способа съемки за тремя светофильтрами произошло вскоре после открытия профессором Фогелем явления сенсibilизации фотографической эмульсии (1873 г.). Этот способ был самым первым, принесшим большие успехи цветной фотографии.

Способ последовательной съемки является наиболее простым, не требующим специальных приспособлений к съемочной камере. Перед объектом на штативе укрепляли фотоаппарат. На объектив надевали светофильтр, например красный, и производили съемку. Меняли светофильтр и фотопластинку и фотографировали вторично, например с зеленым светофильтром, третий негатив получали за синим свето-

фильтром. Так репродуцировали картины, фотографировали натюрморты, пейзажи в тихую погоду и даже фотопортреты\*.

\* Например, в журнале «Фотограф-любитель» № 9, 1908 г. напечатан цветной фотопортрет Л. Н. Толстого, снятый в Ясной Поляне 23 мая 1908 г. редактором-издателем журнала С. М. Прокудиным-Горским.

Для одновременного экспонирования трех фотослоев (что необходимо при съемке движущихся предметов) изобретателями были предложены различные конструкции фотокамер. В качестве примера взяты две схемы (рис. 80). В камере фирмы «Иос-Пе» использованы непрозрачные зеркала 1, 2, отражающие световые потоки на фотопластинки 3 и 5. Положение зеркал подобрано таким образом, чтобы получить равномерное распределение света на трех фотопластинках — 3, 4, 5. Перед фотопластинками расположены светофильтры. Камера имела недостаток — съемка производилась как бы с трех точек, что приводило к возникновению «стереопараллакса» и к несовпадению точек изображения.

Другая конструкция цветоделющей камеры, в которой зеркала расположены под прямым углом друг к другу, предложенная Нансэ (1895 г.), широко применялась в начале нашего века. Камеры, в которых применяются полупрозрачные зеркала или призмы, совершенно свободны от параллакса, поскольку для каждого изображения используется полностью все действующее отверстие объектива. Лучи, исходящие из объектива, попадают на зеркало 1, которое отражает на фотопластинку 3 только  $\frac{1}{3}$  часть света. Прошедший далее свет попадает на зеркало 2, которое 50% света отражает на фотопластинку 5, а 50% пропускает на фотопластинку 4. Перед фотопластинками находятся светофильтры.

Чтобы избежать неудобств, связанных с использованием зеркал из сравнительно толстого стекла (отражение от непосеребренной стороны зеркала, снижение резкости), в некоторых камерах использовались тонкие (около 0,01 мм) пластмассовые посеребренные пленки, туго натянутые на раму. Одновременное экспонирование трех фотопластинок производилось посредством центрального затвора.

Рассмотрим на примере способ цветоделения при последовательной съемке: зеленое растение с красным цветком, растущее в синем горшке (рис. 81, см. цветную вклейку). На изопачхроматическом материале последовательно производится съемка трех негативов. Скрытое изображение образуется там, где подействовал свет, прошедший через светофильтр. Через красный светофильтр пройдут лучи, отраженные от красного цветка, и красная составляющая белого фона. Зеленые лучи от листьев и синие лучи от горшка не пройдут через красный светофильтр. За зеленым светофильтром образуется скрытое изображение стебля, листьев и части фона. За синим светофильтром образуется скрытое изображение синего горшка и части фона.

Этим способом воспроизводимые цвета разлагаются на три первичных с помощью светофильтров. Задача градационной стадии — получить плотности цветоделенных негативов пропорциональными тем количествам первичных, в которых их надо смешать, чтобы получить фотографируемый цвет. Необходимо, чтобы

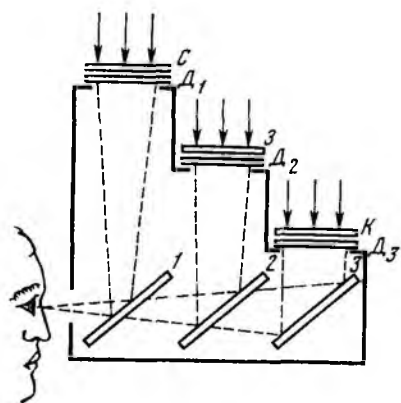
плотности и контраст изображений ахроматических объектов были одинаковыми на всех трех негативах. Поэтому обработку трех негативов ведут в одном растворе одновременно.

## § 29. СИНТЕЗ ЦВЕТА ПО АДДИТИВНОМУ СПОСОБУ

*Смешение световых потоков.* Из трех источников белого света с помощью красного, зеленого и синего светофильтров выделяются первичные составляющие в виде трех окрашенных световых потоков, дающих при смешении на белом экране белый свет (рис. 82, см. цветную вклейку). Чтобы из них можно было составить воспроизводимые цвета, их интенсивности должны быть пропорциональны количествам света, действовавшим на каждый из фотослоев. Сделать это можно, пропустив световые потоки через диапозитивные изображения, прозрачность которых пропорциональна количеству цветных лучей, составляющих цветное изображение копии. Если поместить три диапозитива на пути красного, зеленого и синего потоков, то каждый диапозитив пропустит как раз то количество света, которое требуется для синтеза, и в результате на белом экране получатся требуемые цвета (см. рис. 81, кривые 3 и 4).

В начале века зарубежные фирмы выпускали три диапроектора, объединенные в одном корпусе и предназначенные для публичной демонстрации трех диапозитивов с целью получения цветного изображения.

Для индивидуального рассматривания трех диапозитивов предназначался прибор (Ф. Айвс, 1890), получивший название хромоскопа (рис. 83). Наблюдатель видит одно изображение, проецируемое посредством трех зеркал. Два ближних к глазу зеркала — 1, 2 — полупрозрачные. Для полного совпадения трех частичных изображений расстояния от каждого диапозитива до глаза (диапозитив — зеркало — глаз) устанавливались одинаковые.

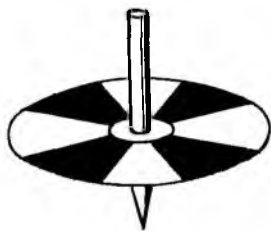


Кроме способа смешения на белом экране окрашенных световых потоков, существуют еще два способа аддитивного синтеза цвета: временное смешение и пространственное смешение.

*Временное смешение.* В основе временного смешения лежит способ последовательного

Рис. 83. Схема хромоскопа

Рис. 84. Волчок (юла) для временного смешения



проецирования разноцветных пучков света на белый экран с достаточно высокой частотой их смен. В результате исчезает их мелькание и в глазу возникает ощущение нового цвета.

В том, что это так, можно убедиться на простом опыте с вертушкой или волчком (рис. 84). На вертушке или на картонном диске волчка укрепляют кружки с цветными секторами. При быстром вращении все цвета сливаются в один сплошной, точно так же, как ночью при быстром вращении палки с угольком на конце возникает ощущение светящегося круга. (Объяснение этих явлений изложено в § 3.)

В истории цветного кинематографа с начала нашего века насчитываются десятки способов, запатентованных и частично или полностью реализованных на практике, в основе которых лежат принципы аддитивного синтеза цвета.

Рассмотрим вкратце принцип первого способа, послужившего впоследствии для многих изобретателей образцом (способ получил название «Кинемаколор», авторы Урбан и Смес, 1903 г.).

Съемка производилась камерой, обтюратор которой имел два прорезных сектора, закрытых красным и зеленым светофильтрами. Вращение обтюратора так было согласовано с движением пленки, что при продвижении ее на один кадр обтюратор поворачивался на  $180^\circ$ , сменяя фильтр за объективом. Таким образом, все кадры через один были экспонированы за красным или зеленым светофильтром. Съемка велась на панхроматической пленке. С негатива печатали позитив. Кинопроектор был снабжен таким же обтюратором, как и съемочная камера. При проекции каждый кадр проецировался через светофильтр, за которым он экспонировался при съемке. При достаточно быстром движении пленки глаз переставал различать отдельные кадры, оба цвета сливались, производя впечатление цветного изображения.

Впоследствии были предложены различные системы, предназначенные для последовательной и одновременной съемки трех кадров за светофильтрами красного, зеленого и синего цветов. Однако этот принцип имел большой недостаток — хорошее качество изображения получалось только при съемке неподвижных объектов; при проекции подвижных объектов на экране возникала разноцветная кайма (временный параллакс). Временный параллакс присущ всем способам с последовательной проекцией цветоразделенных кадров.

В наше время система с последовательной проекцией цветоразделенных кадров первоначально использовалась в цветном телевидении. Обладая, как и кинематограф, целым рядом недостатков, эта система нигде к широкому внедрению не принята, по

может быть использована для телевизионных передач внутри промышленного предприятия.

*Пространственное смешение.* Первыми способ пространственного смешения стали использовать в искусстве художники-мозаисты, а затем художники-пуантелисты. Они рисовали картины красками основных цветов, нанося их в виде очень мелких точек. С некоторого расстояния одноцветные точки перестают различаться, и глаз воспринимает цвета в соответствии с законами аддитивного синтеза.

Еще раньше художников принципы пространственного смешения использовали ткачи. Применяя различные по окраске нитки основы и утка, они получали ткань новой расцветки. Еще большего разнообразия удастся достигнуть при использовании ниток нескольких цветов (ткань шотландка).

Физической причиной пространственного смешения цветов является гранулярная структура сетчатки глаза, состоящей из палочек и колбочек. Когда изображения двух соседних элементов, различающихся по окраске, попадают на соседние колбочки, глаз не в состоянии анализировать каждый отдельный цвет.

Для доказательства аддитивной природы пространственного смешения обычно проводятся опыты. На глянцевом белом листе цветной тушью рисуют решетку, причем штрихи одного цвета должны чередоваться со штрихами другого цвета, располагаясь по соседству в средней части таблицы (рис. 85 см. вклейку).

Удаляясь от таблицы, замечают, на каком расстоянии штрихи перестают восприниматься раздельно. Для различных людей это расстояние неодинаково.

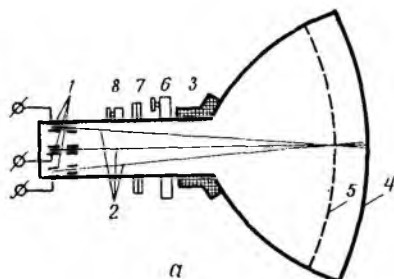
Цветная растровая репродукция (высокая и офсетная печать) также представляет пример аддитивного смешения. Правда, в случае трехцветной печати точки трех красочных оттисков частично или полностью перекрывают друг друга и тем самым образуют на оттиске по субтрактивному способу семь цветов: желтый, пурпурный, голубой (однокрасочные участки точек); красный, зеленый, синий (участки точек с попарным наложением красок) и черный (участки точек, где наложены друг на друга все три краски). Восьмым цветом является белый цвет чистой бумаги. Эти восемь цветов, полученных по субтрактивному способу, смешиваются в глазу по аддитивному способу.

Луи Дюко дю Орон (1868 г.) доказал, что можно получать цветные фотографии, пользуясь всего лишь одной пластинкой. Фотопластинки с цветным растром, нанесенным тем или иным способом, получили особенно широкое признание у фотолюбителей. Существовало около 300 сортов таких пластинок. Однако наибольшую известность имели автохромные пластинки братьев А. и Л. Люмьер (1907 г.).

В качестве светофильтров трех основных цветов в автохромных пластинках использовались окрашенные зернышки крахмала. Смесь окрашенных зернышек наносили на стекло, покры-

Рис. 87. Устройство и работа трехцветного кинескопа:

*a* — эскиз трубки; 1 — электронные прожекторы *R*, *G* и *B*; 2 — электронные лучи *R*, *G* и *B*; 3 — отклоняющая система, общая для электронных лучей *R*, *G* и *B*; 4 — мозаичный экран; 5 — маска; 6 — электромагниты, обеспечивающие сходимость лучей; 7 — магниты чистого цвета; 8 — магнит перемещения синего электронного луча *B*



тое липким лаком, удаляли неприлиплие зерна, а оставшиеся сплющивали, чтобы они располагались возможно плотнее друг к другу, и покрывали лаком (рис. 86) \*. Смесь зерен должна была иметь нейтрально-серый цвет. Приблизительное соотношение числа красных, зеленых и синих зерен соответственно 3:4:3. Затем фильтровый слой поливали панхроматической эмульсией.

После фотосъемки пластинки обрабатывали по способу обращения изображения и получали цветной диапозитив: При необходимости репродуцировали диапозитивы на диапозитивных пластинках.

Большинство фирм выпускали пластинки с регулярным растром в виде квадратиков, вплотную прилегающих друг к другу. В некоторых растровых способах растр отделен от светочувствительного слоя и приводится с ним в контакт только при съемке и рассматривании. Для этих способов надобность в обращении изображения отпадает.

*Цветное телевидение.* В настоящее время аддитивный способ синтеза цвета из отдельных элементов растра нашел применение в так называемой совместимой системе цветного телевидения \*\*. Передающее устройство состоит из трех передающих трубок цветов — *R*, *G* и *B* (от начальных букв английских слов, означающих красный, зеленый и синий) и сложной оптики. В цветных телевизионных приемниках установлен один трехцветный кинескоп. Экран кинескопа выполнен в виде мозаики, состоящей из сотен тысяч люминофорных групп, каждая из которых представляет собой сочетание трех точек красного *R*, зеленого *G* и синего *B* люминофоров (рис. 87, *a*, *б*) \*. Люминофорные точки *R*, *G*, *B* последовательно повторяются вдоль строки.

Кинескоп содержит три отдельных электронных прожектора, которые создают три электронных луча — *R*, *G*, *B*, воздействующие на люминофорные точки *R*, *G*, *B*. При изменении интенсивности лучей электронных прожекторов будет изменяться яркость *R*, *G* и *B* люминофоров и их суммарный цвет.

\* Рис. 86; 87, *б* см. цветную вклейку.

\*\* Ашкенази Г. И. Цвет в природе и технике. 3-е изд. М., «Энергия», 1974.

Поскольку перемещение связанных электронных лучей в пространстве происходит с колоссальной скоростью, то эти лучи будут обогать все множество люминофорных групп и создавать цветное изображение объекта передачи в натуральных цветах.

Для того чтобы каждый из электронных лучей, достигая мозаичного экрана, попадал только на точки люминофора «своего цвета», перед экраном устанавливают металлическую пластинку толщиной 0,15 мм с количеством отверстий, соответствующих количеству люминофорных групп для прохождения электронных лучей. Такую пластинку называют маской.

Для правильной работы трехцветного кинескопа с маской необходимо, чтобы три электронных луча —  $R$ ,  $G$  и  $B$  одновременно проходили через каждую точку маски на всей ее поверхности.

### § 30. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦВЕТА ПО СУБТРАКТИВНОМУ СПОСОБУ

*Анализ цвета в многослойных эмульсиях.* Чтобы упростить процесс анализа цвета, многие изобретатели предлагали способы одновременной съемки на два или три фотослоя, расположенные непосредственно один за другим. При этом первый слой должен быть несенсибилизированным, второй — сенсибилизирован к зеленым лучам, третий — преимущественно к красным лучам. Но так как любая эмульсия после сенсибилизации остается чувствительной к синим лучам, то для их поглощения за первым слоем имелся желтый фильтровый слой, пропускающий зеленые и красные лучи. Первоначально этот способ не получил распространения из-за того, что очень трудно точно подобрать степень чувствительности разных сортов пластинок по отношению друг к другу, а также из-за того, что на двух задних пластинках всегда получались более или менее расплывчатые изображения. Однако эта задача была решена в 40-х годах, когда различные по спектральной чувствительности слои стали поливать на одну подложку последовательно (фирма «Агфа»).

Почти все выпускаемые сегодня цветофотографические материалы имеют строение, показанное на рис. 88\*. Рассмотрим на примере, как происходит анализ цвета при фотосъемке. В качестве образца используем таблицу (рис. 89— $I$ )\*, содержащую основные цвета (синий, зеленый, красный), сложные (желтый, пурпурный, голубой), ахроматические (белый, черный). На эмульсию верхнего слоя действуют лучи от полей, отражающих только синие лучи, а также синие лучи, входящие в состав сложных цветов (пурпурный = красный + синий; голубой = зеленый + синий), и синие лучи, отражаемые белым полем. В зеленочувствительном и красночувствительном слоях будут получены

\* Рис. 88—93 см. на цветных вклейках.



скрытые изображения полей, отражающих соответственно лучи зеленого и красного цвета (см. рис. 89 — 2).

При обработке цветофотографических материалов параллельно восстановлению металлического серебра происходит образование красителя. В каждом слое цвет красителя является дополнительным к цвету лучей, подействовавших на данный слой. В верхнем слое образуется желтый краситель, в среднем — пурпурный, в нижнем — голубой. Количество красителя пропорционально количеству восстановленного металлического серебра, а тем самым и количеству подействовавшего на каждый эмульсионный слой света.

*Образование цвета по субтрактивному способу.* В технологическом процессе обработки цветофотографических материалов проводится операция отбели, при которой металлическое серебро растворяется. Обесцвечивается и желтый фильтровый слой, так как его цвет был обусловлен мелкодисперсным металлическим серебром. По окончании процессов обработки при просмотре пленки на ней видны цвета, соответствующие цветам красителей каждого из слоев (желтый, пурпурный, голубой — рис. 89—3), а также суммарные цвета, соответствующие смесям в различных пропорциях трех частичных изображений, состоящих из красителей (рис. 89—4). Пурпурный и голубой красители дают суммарный синий цвет, желтый и голубой — зеленый цвет; желтый и пурпурный — красный цвет; желтый, пурпурный и голубой — черный цвет (рис. 90). Другие цвета, образующиеся при прохождении белого света через слои, в различных пропорциях содержащие красители, показаны на рис. 91.

Процесс получения позитива на многослойном цветофотографическом материале аналогичен процессу получения негатива (рис. 92). Сравнивая позитивное изображение с оригиналом, можно констатировать полное совпадение цветов. Практически по различным причинам полного совпадения быть не может. Поэтому в процессе печати для получения желаемой комбинации цветов на пути копировальных лучей располагают светофильтры желтого, пурпурного или голубого цвета. Светофильтры используют поодиночке или в попарном сочетании. В набор корректирующих светофильтров входят по 11 и более фильтров, имеющих нормированную плотность. Изменением спектрального состава копировального света удастся изменить пропорции красителей, создающих позитивное изображение, и тем самым получить позитив, схожий с оригиналом или содержащий преднамеренные отклонения от цвета оригинала.

*Получение изображения на обрабатываемых цветофотографических материалах.* При съемке многоцветного объекта 1 на обрабатываемом фотоматериале (рис. 93—1) анализ цвета происходит аналогично цветным негативным материалам. Скрытое частичное изображение (рис. 93—2), образовавшееся в слоях, переведется в видимое при обработке в черно-белом проявителе (рис. 93—3).

После вымывания проявителя из эмульсионных слоев оставшееся непроявленное галоидное серебро экспонируется и обрабатывается в цветном проявителе. Здесь, как и при обработке цветного негативного материала, происходит восстановление металлического серебра и параллельно образование красителя из бесцветных компонентов, содержащихся в эмульсионном слое, и продуктов окисления цветного проявляющего вещества, возникающих при восстановлении галогенида серебра в металлическое серебро (рис. 93—4). После удаления металлического серебра в слоях остаются только частичные изображения из красителей (рис. 93—5). При просмотре на просвет происходит синтез цвета (рис. 93—6).

*Воспроизведение многоцветных изображений в полиграфии.*

Все многочисленные способы воспроизведения многоцветных объектов в прошлом и в настоящее время основываются на двух способах: аддитивном синтезе цвета или субтрактивном методе получения цвета. Одним из самых старых и самых распространенных субтрактивных методов получения цвета является полиграфический. В полиграфии оригиналами служат картины, рисунки, фотографии. Копии получают в виде печатных оттисков на бумаге. В тех случаях, когда нельзя использовать оригинальные изображения, с них готовят вторичные или издательские оригиналы путем фотографирования на цветную негативную или обрабатываемую пленку. Все цветные фотографии, которые используются как оригиналы для цветной печати, являются вторичными оригиналами, промежуточными между объектом природы и печатным оттиском.

С многоцветного оригинала получают три цветоделенных негатива путем последовательного фотографирования с красным, зеленым и синим светофильтрами.

Задачей цветоделительного фотографирования является получение таких трех цветоделенных негативов и диапозитивов, плотности которых на каждом участке были бы пропорциональны (на негативах обратно, на диапозитивах прямо) количествам трех красок, требуемых для воспроизведения цветов оригинала.

С негативов печатают диапозитивы, с которых готовят клише для печати. Печать с клише производится красками дополнительного цвета по отношению к выделяемому цвету. С диапозитива, полученного с негатива с красным светофильтром, печатают голубой краской, с зеленым светофильтром — пурпурной краской, с синим светофильтром — желтой краской.

Обратимся снова к рис. 81. Примем, что с диапозитивов изготовлены клише. Три оттиска будут иметь вид, показанный на рис. 94 (см. вклейку). При совместном наложении трех оттисков на белую бумагу образуется многоцветная копия. Примерами применяемых красителей являются пигмент голубой фталоциановый, лак основной розовый и пигмент желтый светопрозрачный. Эти краски при наложении одной на другую дают чистые зеленые,

фиолетовые и оранжевые цвета. Вследствие малого поглощения они не дают черного цвета. Поэтому при трехцветной печати в некоторых случаях добавляют серую или черную краску.

Чтобы знать, какие цвета могут быть воспроизведены с помощью данных красок, пользуются шкалами цветового охвата.

*Способы цветной фотографии, основанные на задубливании желатины.* Многие из существовавших способов цветной фотографии были объединены тем общим признаком, что в них использовалось свойство смеси желатины с солями хромовой кислоты (хромированная желатина) дубиться, т. е. терять способность растворяться или набухать в воде. Дубление желатины происходит под действием света или в результате химических реакций, происходящих между металлическим серебром, составляющим изображение, и восстановителем, переводящим серебро в хлористое или бромистое соединение.

Обычно дубление желатины происходит под влиянием солей окиси хрома, образующихся в результате восстановления хромовокислых солей, введенных в желатину. Существуют и способы задубливания желатины продуктами окисления проявляющего вещества. Задубленная желатина теряет способность набухать или растворяться в горячей воде, что дает возможность получить рельефное желатиновое изображение.

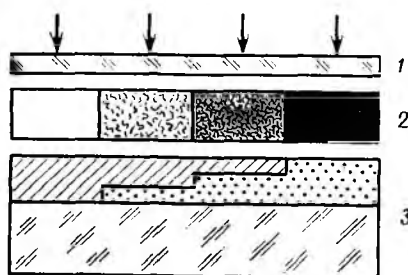
Первый способ состоит в смачивании желатинового слоя. Задубленные места набухают в меньшей степени, чем незадубленные, и получается рельеф набухания, хорошо заметный при рассматривании влажного изображения под малым углом.

Второй способ заключается в обработке желатинового изображения горячей водой такой температуры, чтобы незадубленная желатина расплавилась, а задубленная осталась. Рельефное изображение, полученное из задубленной желатины, называется рельефом вымывания.

**Пигментный способ.** Полученное рельефное желатиновое изображение для цветной репродукции должно быть окрашено соответствующим красителем.

При приготовлении бумаги для пигментных отпечатков в желатиновый слой вводят тонко растертый нерастворимый в воде краситель (пигмент). Удалив в горячей воде незадубившуюся желатину, получают таким способом рельефное желатиновое изображение, окрашенное в соответствующий цвет. Три полученных таким путем окрашенных изображения (желтого, пурпурного и голубого цвета), сложенные друг с другом точно по контурам, дают готовое цветное изображение.

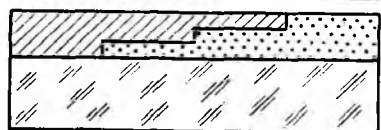
**Гидротипный способ.** Получив с помощью вымывного рельефа рельефное изображение из бесцветной желатины, его окрашивают в нужный цвет в водном растворе соответствующей краски. В этом случае толщина рельефа будет определять собой количество впитанного красителя и, следовательно, интенсивность окраски.



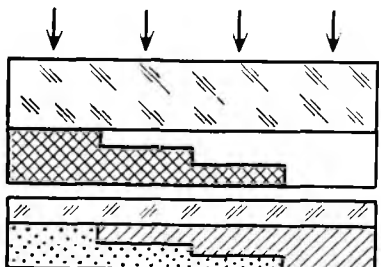
1



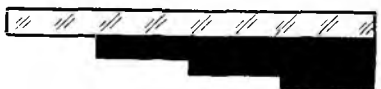
2



3



4



5



6



Бромистое серебро



Скрытое изображение



Металлическое серебро

Рис. 95. Схема получения копии гидротипным способом:

1 — светофильтр; 2 — оригинал; 3 — получение на панхроматической пленке цветоделенного негатива; 4 — копирование с цветоделенного негатива на матричную пленку; 5 — матрица окрашенная; 6 — копия

Если окрашенный рельеф (матрицу) привести в тесное соприкосновение с желатиновым слоем, нанесенным на бумагу или пленку, то краситель из матрицы переходит в этот слой. Количество краски, перешедшей на желатиновый слой, будет пропорционально количеству краски, находящейся в данном месте матрицы, т. е. пропорционально толщине рельефа матрицы. При нанесении трех таких окрашенных изображений друг на друга получают цветную репродукцию.

Рассмотрим схему получения копии по гидротипному способу (рис. 95).

В качестве оригинала можно использовать, например, цветной диапозитив. С него печатают контактом на изопанхроматической пленке последовательно за красным, зеленым и синим светофильтрами три цветоделенных негатива. С негативов контактным способом или посредством увеличения печатают матрицы. Матричная пленка имеет несенсибилизированный незадубленный эмульсионный слой, окрашенный в желтый цвет, что способствует

смягчению градации и получению более тонкого рельефа. Чтобы в дальнейшем рельеф прочно держался на пленке, печать ведут через основу матричной пленки.

Избирательное задубливание желатины достигается применением так называемых дубящих проявителей с малым содержанием сернистокислого натрия (4—5 г на 1 л). После проявления пленку помещают в воду, нагретую до температуры 32—35° С.

Незадубленная желатина растворяется. Для окраски матриц используют, например, тартрацин, азофуксин, ксиленовый голубой.

Гидротипный метод широко используется в кинематографии для печати цветных позитивных копий фильмов и в художественной цветной печати с использованием желатинированной бумаги.

Гидротипный метод обладает рядом достоинств. Гидротипные отпечатки имеют совершенно чистые цвета и при правильном цветоделении дают отличное воспроизведение цвета, с богатой гаммой оттенков и возможностью наряду с нежными, акварельными тонами получать яркие, насыщенные краски, отличающиеся к тому же большой светопрочностью. Для переноса красителей можно использовать желатинированные бумаги с различной структурой поверхности.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

- Ашкенази Г. И. Цвет в природе и технике. 3-е изд., М., «Энергия», 1974. 87 с.
- Бокин Я. И. Теория и практика цветной фотографии. М., Госкиноиздат, 1941. 284 с.
- Булат В. Л. Оптические явления в природе. М., «Просвещение», 1974. 141 с.
- Голдовский Е. М. Светотехника киносъемки. М., «Искусство», 1968. 258 с.
- Горбатов В. А., Тамицкий Э. Д. Цветная фотография. М., «Легкая индустрия», 1972. 260 с.
- Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света. М., «Энергия», 1968. 388 с.
- Друккер С. А. Источники света и освещение в цветной фотографии. М., «Искусство», 1956. 244 с.
- Зернов В. А. Цветоведение. М., «Книга», 1972. 234 с.
- Ивенс Р. М. Введение в теорию цвета. М., «Мир», 1964. 436 с.
- Линдсей П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., «Мир», 1974. 520 с.
- Малкин Д. Я. Применение газоразрядных источников света. М., «Энергия», 1975. 117 с.
- Неблит К. Ф. Фотография. М., «Искусство», 1958. 673 с.
- Нюберг Н. Д. Курс цветоведения. М., Гизлегпром, 1932. 188 с.
- Пятницкий Ф. С. Цветоведение и цветовоспроизведение. М., ВГИК, 1970. 135 с.
- Фаас В. А. Светофильтры. М., Кинофотоиздат. 1936. 205 с.
- Шаронов В. В. Свет и цвет. М., Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. 311 с.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ГЛАВА I. СВЕТ И ЕГО ВОСПРИЯТИЕ

§ 1. Спектр электромагнитных излучений . . . . .	3
§ 2. Световые величины и единицы . . . . .	5
Световой поток . . . . .	5
Освещенность . . . . .	6
Светимость . . . . .	7
Сила света . . . . .	7
Яркость и отражение света поверхностями . . . . .	8
§ 3. Основные свойства зрения . . . . .	11
§ 4. Точечный источник света и его световые характеристики . . . . .	26
§ 5. Цветовая температура . . . . .	27
§ 6. Кривая светораспределения источника света . . . . .	28
§ 7. Стандартные источники света . . . . .	29
§ 8. Естественное освещение . . . . .	31
Освещение днем . . . . .	31
Освещение в сумерки . . . . .	34
Освещение ночью . . . . .	35
Регулярные и нерегулярные факторы, влияющие на естественное освещение . . . . .	36
Особенности освещения в различное время суток и использование его при фото- и киносъемках . . . . .	37
§ 9. Искусственное освещение . . . . .	40
Основные характеристики источников искусственного света . . . . .	40
Лампы накаливания . . . . .	41
Газоразрядные источники света . . . . .	48
Импульсные источники света . . . . .	53

## ГЛАВА II. ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

§ 10. Классификация осветительных приборов . . . . .	55
§ 11. Системы крепления осветительных приборов в фотопавильонах . . . . .	58
§ 12. Вспомогательные устройства, применяемые для изменения свето- технических характеристик осветительных приборов . . . . .	61
§ 13. Осветительное оборудование, используемое в фотопавильонах . . . . .	63

## ГЛАВА III. СВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 14. Субъективный метод световых измерений . . . . .	75
§ 15. Объективный метод световых измерений . . . . .	77

## ГЛАВА IV. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ

§ 16. Системы освещения . . . . .	78
§ 17. Нормы освещенности . . . . .	81
§ 18. Освещение рабочих мест при проведении фотографических работ	82

## ГЛАВА V. ЦВЕТ

§ 19. Характеристика цвета . . . . .	83
§ 20. Физические основы цвета . . . . .	85
§ 21. Светящиеся и несветящиеся, прозрачные и непрозрачные тела	85
§ 22. Поглощение и рассеяние света . . . . .	87
§ 23. Ахроматические и хроматические цвета . . . . .	91
§ 24. Количественная оценка и измерение цвета . . . . .	97

## ГЛАВА VI. СВЕТОФИЛЬТРЫ

§ 25. Назначение и виды светофильтров . . . . .	99
§ 26. Отражение, поглощение и пропускание света светофильтрами	101
§ 27. Классификация светофильтров . . . . .	105

## ГЛАВА VII. ЦВЕТОДЕЛЕНИЕ И ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ

§ 28. Основной принцип цветной фотографии . . . . .	119
§ 29. Синтез цвета по аддитивному способу . . . . .	122
§ 30. Воспроизведение цвета по субтрактивному способу . . . . .	126
Указатель литературы . . . . .	132



*Михаил Ильич Закс,  
Леонид Дмитриевич Курский*

**ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ  
И ЦВЕТОВЕДЕНИЯ  
В ФОТОГРАФИИ**

Редактор Ц. Б. Иофинова  
Художественный редактор Г. Н. Тюлина  
Переплет художника В. В. Евдокимова  
Техн. редактор Н. В. Черенкова  
Корректор Е. Н. Титова  
ИБ № 521

Сдано в набор 22.09.77. Подписано в печать 5.04.78.  
Т-06422. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская  
№ 3. Гарнитура шрифта обыкновенная новая. Печать высокая. П. л. 9,5 (8,5 п. л.+1,0 п. л. дв. вклейки). Уч.-изд. л. 9,57. Тираж 31000 экз. Зак. № 2834. Цена 60 коп.

Издательство «Легкая индустрия»,  
103031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, 22

Ленинградская типография № 4 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ленинград, Ф-126, ул. Социалистическая, д. 14.

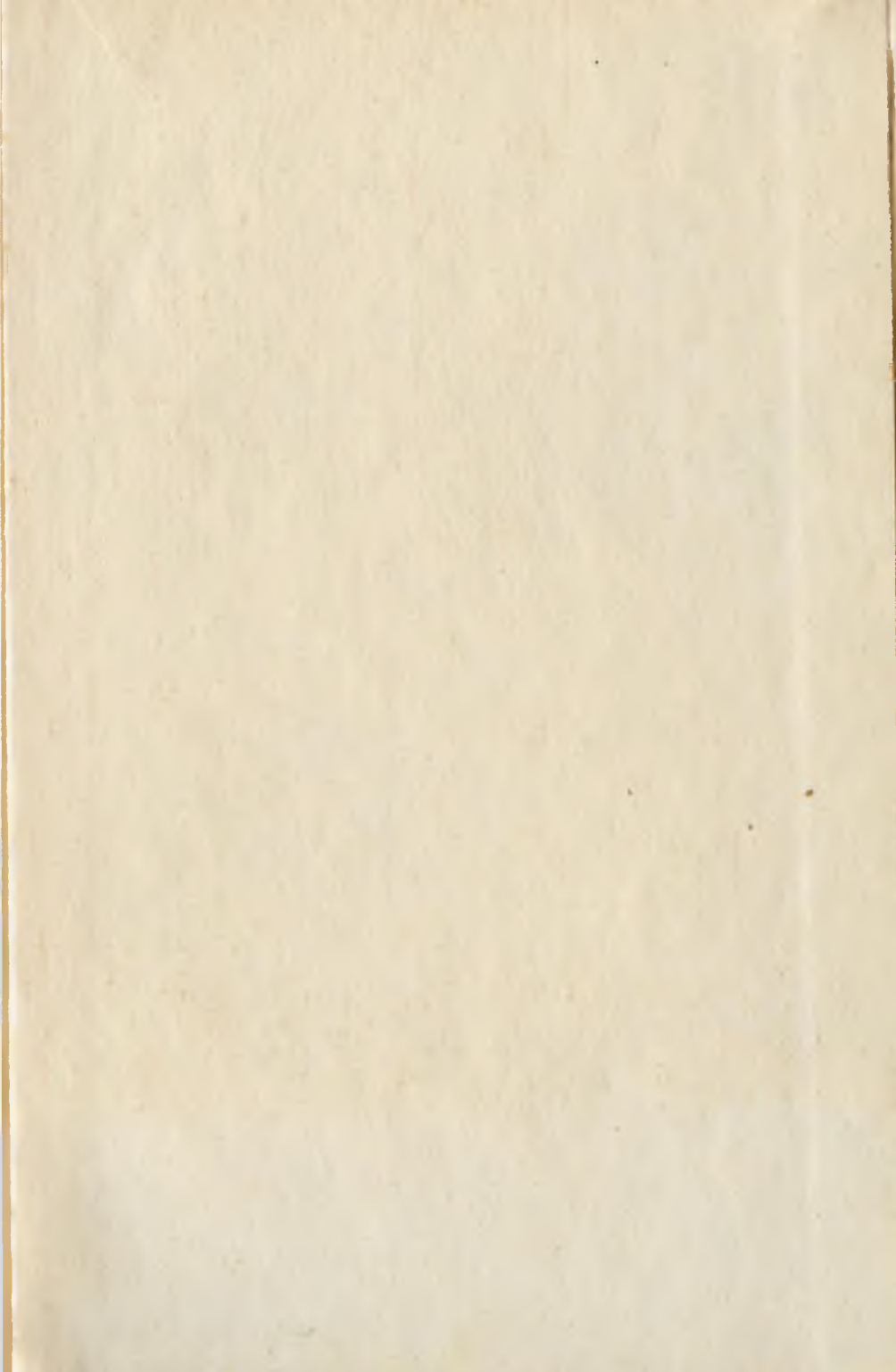
## ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

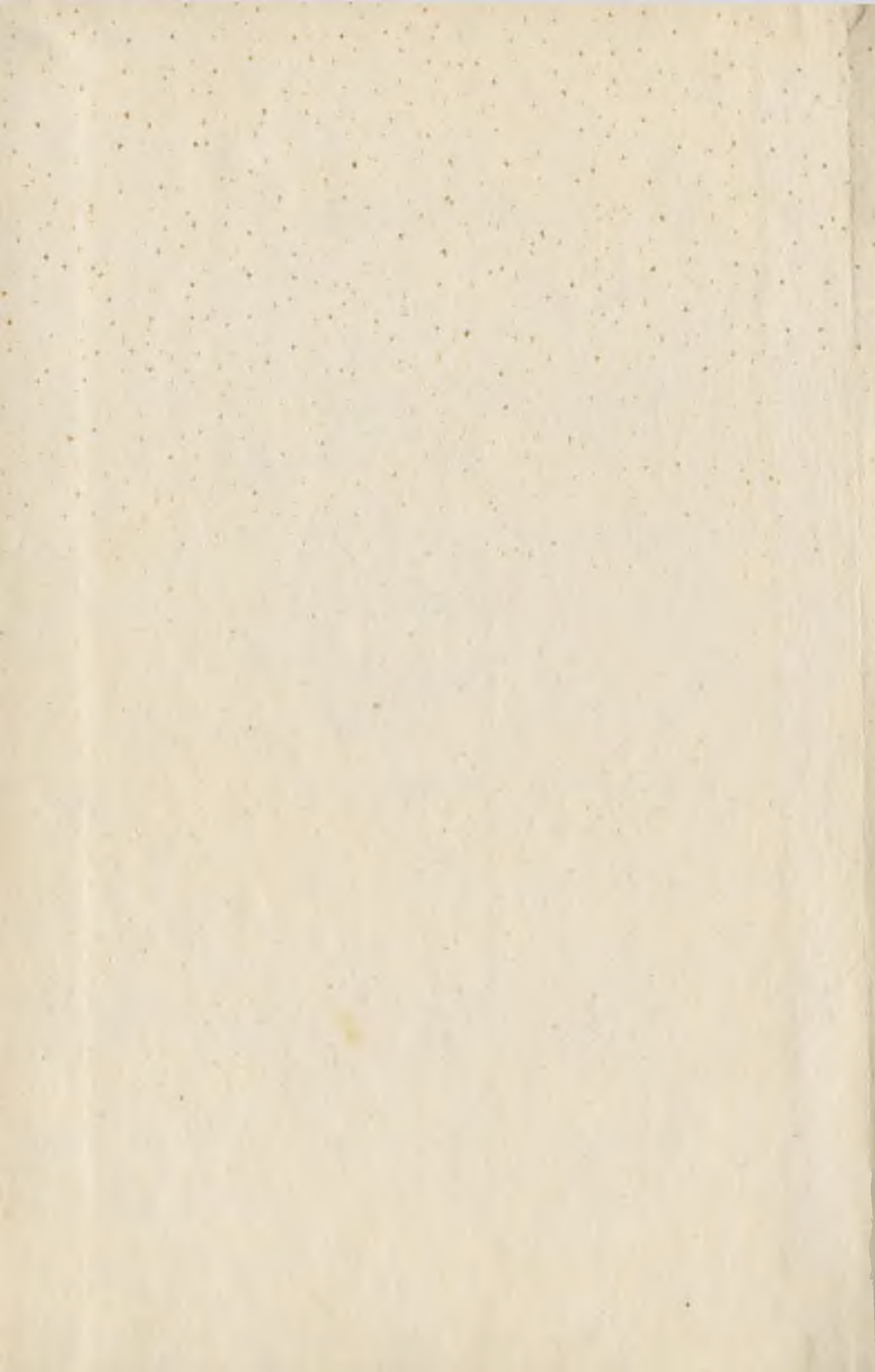
Издательство «Легкая индустрия» доводит до вашего сведения, что ежегодно в первом полугодии во все книжные магазины страны поступает аннотированный план выпуска литературы на следующий год, по которому на местах принимаются предварительные заказы на книги и плакаты.

Просим вас зайти в книжный магазин по месту жительства, распространяющий научно-техническую и учебную литературу, ознакомиться с планом выпуска литературы на следующий календарный год и сдать заказ на необходимые вам книги и плакаты.

Издательству же сообщите адрес книжного магазина, куда вы сдали заказ на книги по плану выпуска литературы издательства «Легкая индустрия».

Издательство «Легкая индустрия»





90

05

16

Blank rectangular label with faint, illegible text.

60коп.

