

535
П 18

**ПАРМАНКУЛОВ И.П., БАЗАРБАЕВ Б.Ж.,
ТАШМУХАМЕДОВА Г.Х.**

ФОТОМЕТРИЯ И ЦВЕТОВЕДЕНИЕ

ТАШКЕНТ

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ
МУХАММАД АЛЬ-ХОРАЗМИ**

**ПАРМАНКУЛОВ И.П., БАЗАРБАЕВ Б.Ж.,
ТАШМУХАМЕДОВА Г.Х.**

ФОТОМЕТРИЯ И ЦВЕТОВЕДЕНИЕ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Координационным Советом Министерства Высшего и
среднего специального образования Республики Узбекистан*

ТАШКЕНТ – 2019

УДК: 535.24:778.53(075.8)

ББК 22.63я7

П 18

П 18 Парманкулов И.П., Базарбаев Б.Ж., Ташмухамедова Г.Х.
Фотометрия и цветоведение. –Т.: «Fan va texnologiya»,
2019, 336 стр.

ISBN 978-9943-6150-9-0

В учебном пособии последовательно рассмотрены предметы и исходные предпосылки фотометрии и цветоведения, фотометрические свойства тел, операторские оценки условий освещения, основы теории цвета, характеристики цвета объекта съемки. Особое внимание уделено типологии цветовых гармоний, принципам их применения и роли цвета в композиции различных объектов в кадре, что необходимо для специалистов в области телевизионных технологий.

В приложениях приведены рисунки, таблицы, схемы и глоссарий.

Пособие предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 5350200 – “Телевизионные технологии”.

УДК: 535.24:778.53(075.8)

ББК 22.63я7

Рецензенты:

- Исмаилов А.И.** – заслуженный деятель искусств Узбекистана, профессор кафедры «Звукорежиссура и операторского мастерства» ГИИКУз;
- Хасанов Х.Х.** – заслуженный работник культуры Узбекистана, кинооператор высшей категории “Узбекфильма”, ст. преп. кафедры «Звукорежиссура и операторского мастерства» ГИИКУз;
- Салиев М.М.** – оператор высшей категории, ст.преп. кафедры «Системы и приложения телестудий» ТУИТ.

ISBN 978-9943-6150-9-0

© Издательство «Fan va texnologiya», 2019.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «СТРАТЕГИИ ДЕЙСТВИЙ по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах» четвертое направление четвертый подпункт посвящен к подготовке высококвалифицированных кадров в соответствии с современными потребностями рынка труда (7 февраля 2017).

Исходя из этого, для подготовки высококвалифицированных кадров, удовлетворяющих требования по знаниям рынка труда, немаловажную роль играет обеспечение литературой по всем дисциплинам, включенных по соответствующим направлениям Государственного образовательного стандарта. В учебном плане направления 5350200 – Телевизионные технологии («Аудиовизуальные технологии», «Телестудийные системы и приложения») на 4-семестре запланировано чтение курса «Фотометрия и цветоведение» в объеме 36 часов лекции, 18 часов практические занятия и 18 часов лабораторные занятия.

Учебное пособие состоит из двух частей и четырех глав.

Первая часть посвящена основам фотометрии, состоящий из двух глав. В первой главе рассмотрены фотометрические величины и единицы, формулы для определения их. Вторая глава посвящена применению фотометрии в процессах освещения объектов съемки. В частности изучаются такие темы как, основные понятия и термины в экспонетрии, операторские оценки условий освещения, расчеты и регулировки освещения и экспозиции, световая композиция.

Во второй части учебного пособия, также состоящей из двух глав, рассматриваются основы цветоведения. Третья глава посвящена основным характеристикам и свойствам цвета. В четвертой главе рассматривается цветовоспроизведение и измерение цвета. В данную главу включены такие темы как, фотографическое цветовоспроизведение, спектральные характеристики цвета, образование цветов, восприятие цвета, измерения цвета.

Данное учебное пособие предназначено для преподавателей и студентов направления 5350200 – Телевизионные технологии, а также для специалистов работающих в сфере кино и телевидения.

ВВЕДЕНИЕ

Слово «фотометрия» составлено из двух греческих слов: «фос» (φῶς) – свет и «метрео» (μετρεω) – измеряю. Таким образом, в переводе на русский язык его следует понимать как «световые измерения».

В житейском смысле «свет» – это ощущение, которое возникает у человека под влиянием попадающего в его глаз электромагнитного излучения с длинами волн, лежащими в пределах от 0,4 до 0,75 мкм.

В технике под словом «свет» понимают то излучение, которое вызывает зрительное ощущение. Измерение этого излучения и составляет задачу фотометрии.

Измерением звездных величин (т. е. того света, который доходит до нас от звезд) астрономы занимаются уже более двух тысяч лет. Постепенное расширение общего интереса к измерениям света можно проследить по литературным памятникам и отметить его у Данте (XIII в.), Леонардо да Винчи (XV в.) и у Галилея (XVII в.).

Проникновение некоторых видов световых измерений в повседневную практику следует, по-видимому, отнести к концу XVI и началу XVII вв. и особенно к XVIII в., когда были опубликованы книги П. Бугера и И. Ламберта.

С тех пор методы световых измерений непрерывно совершенствуются, следуя за ускоряющимся темпом технического прогресса, предъявляющего все более высокие требования к различным видам измерений лучистой энергии.

С древнейших времен до XIX в. единственная возможность замечать и оценивать излучение была связана со зрением человека. Естественно поэтому, что все фотометрические законы и соотношения развивались только в связи с воздействием излучения на глаз наблюдателя и что световые измерения могли осуществляться только в пределах видимого спектра.

С появлением приемников, чувствительных к ультрафиолетовым и инфракрасным лучам, содержание фотометрии стало расширяться и в настоящее время ее можно определить как совокупность методов и теорий, охватывающих энергетику

процессов излучения, распространения и превращения (в частности, поглощения) лучистой энергии в любой части электромагнитного спектра. Однако, чаще всего фотометрические соотношения применяются к ультрафиолетовому, видимому и инфракрасному излучениям, объединяемым в общем понятии оптического излучения.

С древних времен цвет, его происхождение и свойства занимают умы людей уже на протяжении многих веков и ученые пытались объяснить природу цвета. Однако, вплоть до шестидесятых годов XVII в. имели место самые неправдоподобные теории этого явления.

Причину цвета многие ученые того времени связывали со свойствами самого света, а не с работой глаза.

В разные времена к этому феномену обращались Аристотель. Леонардо да Винчи, Исаак Ньютон (1669 г.). Михаил Ломоносов (1756 г.) и даже Гете. Аристотель (384 - 322 гг. до н.э.) считал, что причиной возникновения цветов является смешение света с темнотой. Подобные теории выдвигались и значительно позднее такими учеными, как Рене Декарт (1596 - 1650), Иоганн Кеплер (1571 - 1630), Роберто Гук (1635 - 1703). В «Учении о цвете» Гете (1810 г.) встречается упоминание о чрезвычайной практической пользе подобных исследований: «Люди, в общем и целом, испытывают большую радость от цветов. Глаз нуждается в них».

В 1664 - 1668 гг. Исаак Ньютон (1643 - 1727) провел серию опытов по изучению солнечного света и причин возникновения цветов. Результаты исследований были опубликованы в 1672 году под названием «Новая теория света и цветов». Этой работой Ньютон заложил основу современных научных представлений о цвете. И хотя с тех пор наука о цвете получила большое развитие, многие положения, установленные Ньютоном, не утратили своего значения до наших дней.

Впервые наиболее близко к объяснению трехцветной природы зрения подошел великий русский ученый М.В. Ломоносов (1711 - 1765) в своем сочинении «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющую» (1765 г.).

Но только английский физик и врач - Томас Юнг (1773 - 1829) в 1802 году, впервые объяснил многообразие воспринимаемых цветов строением глаза. Юнг считал, что в глазу находятся три вида светочувствительных окончаний нервных волокон. Действие света приводит к их раздражению.

При раздражении волокон каждого отдельного вида возникают ощущения красного, зеленого и фиолетового цвета. При раздражении нервных волокон всех видов возникают ощущения всевозможных других цветов, которые можно рассматривать как смеси трех цветов основного раздражения.

Юнг первым правильно назвал одну из триад основных цветов: красного, зеленого, фиолетового. Для определения сложных цветов он предложил пользоваться графиком, подобным цветному кругу, но имеющим форму треугольника, в вершинах которого находятся точки трех основных цветов.

Свое подтверждение и дальнейшее развитие трехцветная теория получила в середине XIX века в работах немецкого физика и физиолога Германа Гельмгольца (1821 - 1894), первым давшего математическую формулировку закона сохранения энергии, и английского физика Джемса Клерка Максвелла (1831 - 1879), открывшего электромагнитную природу света.

После Максвелла многие исследователи производили измерения для выражения всех спектральных цветов количествами трех основных. Достаточно точные данные были получены только в 1930 - 1931 годах Райтом и Гилдом, которые выполнили свои измерения независимо друг от друга. При этом в качестве излучений трех основных цветов они брали совершенно разные излучения: в опытах Райта это были однородные излучения, в опытах Гилда - сложные излучения, проходящие через светофильтры. Их опытные данные после пересчета на единую триаду основных цветов очень хорошо совпали.

В 1931 году конгресс «МКО» (Международная комиссия по освещенности) принял эти данные в качестве основных для международных систем измерения цветов RGB и XYZ. Система XYZ остается до сего времени основной практической системой измерения цветов.

Рядом исследователей были рассчитаны спектральные чувствительности трех приемниках глаза. В 1947 году Гранит провел опыты на живом глазу у некоторых животных, обладающих цветным зрением. В результате опытов он обнаружил наличие в глазу животных трех видов приемников: сине-, красно- и желточувствительного. Таким образом, подтвердилась трехцветная теория Юнга, которая хотя и была очень достоверной, но все же оставалось гипотезой.

Попытки применить на практике научные открытия в области природы цвета предпринимались еще на основании работы Ньютона. Так, через три года после смерти Ньютона, в 1730 году французский гравер Ле Блон пытался получить многоцветные гравюры, используя семь основных цветов Ньютона. Однако он убедился, что при этом можно ограничиться всего тремя цветами.

В 1855 году Максвелл впервые указал на возможность применения принципов трехцветной теории зрения в практике воспроизведения цветных изображений. А в 1861 году он впервые продемонстрировал цветную фотографию, полученную трехцветным способом. Эта фотография была получена аддитивным смешением.

В конце XIX века Дю-Орон разработал принципы способов цветовой субтрактивной репродукции, включая схему современного способа цветовой фотографии на трехцветных пленках и цветовой печати. Однако, общий уровень развития техники того времени не позволял широко их применить. Раньше других способов начала применяться на практике цветная печать (в конце XIX - начале XX вв.). Однако, цветную печать скорее можно было отнести к искусству хромолитографии, чем к технике. Лишь в середине тридцатых годов XX века началось освоение современных промышленных методов цветной печати и цветной фотографии, основанных на методах трехцветного воспроизведения.

Несмотря на значительный интерес, только в 20-е годы XX века цветоведение стала самостоятельной наукой и начала активно развиваться. Огромную роль в этом развитии сыграла Международная комиссия по освещенности (МКО). К началу

века накопилось достаточно много разрозненных сведений о цвете: были хорошо известны особенности цветового зрения человека, установлены закономерности смешения цветов, открыта трехмерность цвета, развит соответствующий математический аппарат.

В. Кандинский говорил: «Цвет – это средство прямого воздействия на человека». И действительно, роль цвета велика, а в XXI веке цвет – один из основных элементов современного брендинга. Коммуникационное пространство, окружающее нас, становится более насыщенным. По статистике, человек получает до 3500 рекламных сообщений в день. С помощью умелого использования знаний цветовой гармонии можно добиваться решения различных задач и создания необходимого эффекта.

ЧАСТЬ I

ОСНОВЫ ФОТОМЕТРИИ

ГЛАВА 1. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ

1.1. Величины, термины и методы в фотометрии и цветоведения

1.1.1. Основные фотометрические величины и единицы

Фотометрией называется раздел оптики, в котором рассматриваются изменения энергии, которую переносят электромагнитные световые волны. Обычно в фотометрии рассматриваются действия на глаз и другие оптические приборы электромагнитных волн видимого оптического диапазона. Для характеристики этого действия вводятся следующие основные физические величины, характеризующие свет с точки зрения переносимой им энергии: световой поток, сила света, освещенность.

Световым потоком Φ называется мощность видимого излучения, которая оценивается по действию этого излучения на нормальный глаз. Иными словами, Φ есть энергия световых электромагнитных волн, переносимая в единицу времени через некоторую площадь поверхности и оцениваемая по зрительному ощущению. Для монохроматического света, соответствующему максимуму спектральной чувствительности глаза ($\lambda=550$ нм), световой поток равен 683 люменам (лм), если мощность излучения равна одному ватту.



Световой поток создается источником света и воздействует на окружающие предметы. Соответственно вводятся в рассмотрение еще две величины: одна для характеристики источника света - сила света источника, а другая для характеристики действия света на поверхность тел - освещенность.

Точечным источником света называется источник, линейные размеры которого значительно меньше, чем расстояние от него до точки наблюдения. Такой источник излучает сферические электромагнитные волны. В большинстве задач, где линейными размерами источника света можно пренебречь, используют точечные источники света.

Для описания распределения светового потока, испускаемого источником света по разным направлениям, используется понятие *телесного угла*. Рассмотрим сферу радиуса R . Представим себе внутри этой сферы конус, вершина которого находится в центре сферы. Этот конус вырежет на сфере некоторую часть поверхности площадью S . Область пространства, ограниченную поверхностью конуса, называют телесным углом. Измеряется телесный угол Ω отношением указанной площади S к квадрату радиуса R сферы:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad (1.1)$$

Нетрудно понять, что значение телесного угла не зависит от радиуса сферы, так как вырезаемая им площадь S пропорциональна квадрату радиуса. За единицу телесного угла принят *стерадиан*. Полный телесный угол, охватывающий все пространство вокруг точки, равен:

$$\Omega = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ ср} \quad (1.2)$$

Силой света J точечного источника называется величина, численно равная световому потоку Φ , который этот источник создает в единичном *телесном угле*. Если точечный источник равномерно излучает свет по всем направлениям, то

$$J = \frac{\Phi_{\text{полн}}}{4\pi}, \quad (1.3)$$

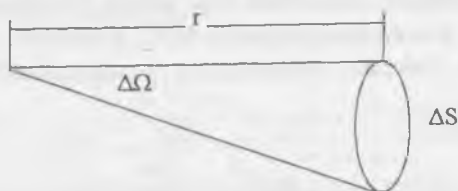
где $\Phi_{\text{полн}}$ есть *полный световой поток* источника света, то есть мощность излучения, создаваемая источником по всем

направлениям, энергия света, которая за единицу времени переносится сквозь произвольную замкнутую поверхность, охватывающую источник света.

Если источник света не точечный, а протяженный, то сила света I малого участка его поверхности в данном направлении:

$$J = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}, \quad (1.4)$$

где $\Delta\Phi$ — световой поток, который создает участок ΔS поверхности источника в данном направлении внутри телесного угла $\Delta\Omega$:



Для произвольного источника света средней сферической силой света называемая величина:

$$J' = \frac{\Phi_{\text{полн}}}{4\pi}, \quad (1.5)$$

где $\Phi_{\text{полн}}$ — полный световой поток источника света. В случае, когда протяженный источник света излучает равномерно по всем направлениям, $J' = J$. В СИ единица силы света кандела (кд) является основной единицей.

Освещенность. Источник света почти всегда освещает поверхности предметов неравномерно. Так лампа, висящая над столом, лучше всего освещает центр стола. Края стола освещены значительно хуже. И дело здесь не только в том, что сила света электрической лампы различна по различным направлениям. Даже в случае точечного источника на площадку придется большая световая мощность (световой поток), чем на такую же площадку на краю.

Освещенностью E называется отношение светового потока Φ , падающего на некоторый участок поверхности, к площади S этого участка:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (1.6)$$

За единицу освещенности принимается *люкс* (лк). Для фотометрических расчетов важно знать, как зависит освещенность E какой-либо поверхности от ее расположения по отношению к падающим лучам, от расстояния R до источника света и от силы света J источника.

Выяснить зависимость освещенности от расстояния до источника можно, поместив мысленно точечный источник в центр сферы. Площадь сферы $S=4\pi R^2$, а полный световой поток равен $\Phi=4\pi J$. Поэтому освещенность выразится так:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{4\pi J}{4\pi R^2} = \frac{J}{R^2} \quad (1.7)$$

В рассмотренном случае лучи падали на поверхность сферы перпендикулярно. Но так происходит далеко не всегда. *Углом падения* луча называют угол α между падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным к поверхности в точке падения луча. Освещенность, которую создает точечный источник с силой света I на поверхности, удаленной на расстояние R от источника, где α - угол падения лучей, выражается формулой:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{4\pi I \cdot \cos \alpha}{4\pi R^2} = \frac{I \cdot \cos \alpha}{R^2} \quad (1.8)$$

1.1.2. Основные понятия и термины в фотометрии и цветоведения

Свет – излучение, непосредственно воспринимаемое зрением (видимое излучение).

Видимое излучение – электромагнитное излучение с длиной волны от 380 до 780 нм. (рис. 1.1). Нм – нанометр – одна миллиардная доля метра.

Распределение лучистой энергии по длинам волн называется спектром. Освещение – применение света в конкретной обстановке, рядом с объектами или в их окружении, с целью сделать их видимыми.

Лампа – источник света. Электрическое устройство, предназначенное для излучения света.



Спектральный состав солнечной радиации в зависимости от длины волны

380-780 нм - видимая часть

< 380 нм

> 780 нм

ультрафиолетовая

инфракрасная

$$\lambda = c / \nu$$

длина волны = скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/сек) / частота колебаний

$$E \text{ (энергия кванта)} = h \nu$$

чем короче длина волны, тем больше энергия кванта

Рис.1.1. Спектральный состав света видимого излучения.

Светильник – прибор, перераспределяющий, фильтрующий и преобразующий свет, излучаемый одной или несколькими лампами и содержащий все необходимые детали для установки,

крепления его и ламп, но не сами лампы, а также электрические цепи и элементы для присоединения его к электрической сети.

Световой поток – полное количество света, излучаемого данным источником. Единица: люмен (лм).

Световая отдача – отношение излучаемого светового потока к потребленной мощности. Единица: люмен на ватт (лм/Вт). Световая отдача показывает, с какой экономичностью полученная электрическая мощность преобразуется в свет.

Сила света – отношение светового потока, направляемого от источника света (лампы) или светильника в пределах элементарного пространственного угла (1 стерадиан), охватывающего данное направление, к этому углу. Единица: кандела (кд).

Освещенность – освещенность определяется отношением падающего светового потока к площади освещаемой поверхности. Освещенность равна одному люксу, если поверхностная плотность светового потока в 1 лм равномерно распределена по площади в 1 кв.м. Единица измерения: люкс (лк).

Цветовое ощущение – общее, субъективное ощущение, которое человек испытывает, когда смотрит на источник света. Свет может восприниматься как теплый белый, нейтральный белый, холодный белый. Объективное впечатление от цвета источника света определяется цветовой температурой.

Цветовая температура – мера объективного впечатления от цвета данного источника света. Единица: кельвин (К).

2700° К – сверхтеплый белый;

3000° К – теплый белый;

4000° К – естественный белый или нейтральный белый;

>5000° К – холодный белый (дневной)

Коэффициент цветопередачи – отношение цветов предметов при освещении их данным источником света к цветам этих же предметов, освещаемых источником света, принятым за эталон (чаще всего Солнцем), в строго определенных условиях. Символ: Ra.

Ra 91–100 соответствует очень хорошей цветопередаче;

Ra 81–91 – хорошая цветопередача;

Ra 51–80 – средняя цветопередача;

Ra < 51 – слабая цветопередача.

1.1.3. Применение методов фотометрии

Существуют два общих метода фотометрии:

1) визуальная фотометрия, в которой при выравнивании механическими или оптическими средствами яркости двух полей сравнения используется способность человеческого глаза ощущать различия в яркости;

2) физическая фотометрия, в которой для сравнения двух источников света используются различные приемники света иного рода - вакуумные фотоэлементы, полупроводниковые фотодиоды и т.д.

При обоих методах для того, чтобы результаты имели универсальную значимость, условия наблюдения (или работы приборов) должны быть такими, чтобы фотометр реагировал на разные длины волн в точном соответствии со "стандартным наблюдателем" МКО. Важно также, чтобы световой выход лампы не изменялся в ходе измерений. Для стабилизации и измерения тока и напряжения в таких условиях обычно требуется довольно сложная электрическая аппаратура. В самых точных фотометрических измерениях приходится стабилизировать ток через лампу с точностью до $(2 \div 3) \cdot 10^{-3}\%$.

Визуальная фотометрия. История визуальной фотометрии начинается с замечательного ученого П. Бугера (1698-1758), который в 1729 году изобрел способ сравнения двух потоков света и сформулировал почти все основные принципы фотометрии.

И. Ламберт (1728-1777) далее систематизировал теорию фотометрии, и дальнейшее ее развитие шло в основном по линии совершенствования методов.

В настоящее время визуальная фотометрия применяется ограниченно – при измерении весьма слабых световых потоков, когда трудно однозначно интерпретировать результаты физической фотометрии. Дело в том, что при уровнях яркости в диапазоне $0,01\text{-}1\text{ кд/м}^2$ спектральная чувствительность глаза плавно изменяется от соответствующей адаптации к свету (дневной, или фотопической) до соответствующей адаптации к

темноте (сумеречной, или скотопической), а потому здесь невозможно предсказать, какой должна быть спектральная чувствительность физического (электрического) фотометра, чтобы обеспечивалось согласие с возможными результатами визуальной фотометрии. Правильная методика для этого диапазона яркостей состоит в визуальном сравнении с источником света, энергетическое распределение которого соответствует высокотемпературному полному телу, фигурирующему в определении кандеры. (Таким источником света может служить электрическая лампа накаливания при некотором значении силы тока.) При очень низких уровнях световых потоков используется второй (сумеречный) эталон, принятый международным соглашением в 1959, что позволяет проводить фотоэлектрические измерения без каких-либо неоднозначностей.

Визуально невозможно определить, насколько яркость одной поверхности больше, чем яркость другой. Но если две поверхности непосредственно примыкают друг к другу, то по исчезновению разграничивающей линии между ними равенство их яркостей можно установить визуально с точностью до 1% и даже еще точнее. Было разработано много различных устройств для образования таких полей сравнения; одно из них, т.н. кубик Люммера - Бродхуна, показано на рис. 1.2,а. Это две сложенные вместе трехгранные призмы из оптического стекла, причем контактная грань одной призмы слегка закруглена. Вследствие этой закругленности призмы имеют лишь частичный оптический контакт, через который свет может проходить прямо. Но в тех местах, где грани призм не соприкасаются, свет полностью отражается. Часто бывает желательно, чтобы свет от двух источников падал с противоположных сторон, и поэтому применяются схемы типа показанной на рис. 1.2,б. Наблюдатель, глядя в микроскоп с небольшим увеличением, видит поля сравнения, показанные на рис. 1.2,в.

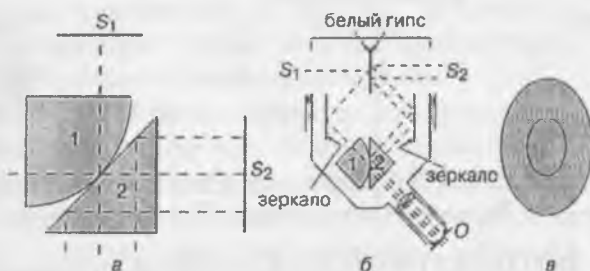


Рис. 1.2. СХЕМА КУБИКА ЛЮММЕРА - БРОДХУНА, применяемого для сравнения силы света двух источников:

а – две призмы, из которых состоит кубик; б – их расположение в фотометрической головке; в – поля сравнения, видимые в окуляр О. Свет от источника S_1 попадает в нее после внутреннего отражения в призме S_2 . В результате формируется изображение в виде двух соосных эллипсов.

Чтобы добиться одинаковой яркости двух полей сравнения, нужно регулировать световой поток хотя бы одного из сравниваемых источников света. В лабораторных измерениях сравниваемые лампы закрепляют в держателях, которые можно перемещать по направляющей. Такая направляющая, прямая и достаточно жесткая, называется фотометрической скамьей. Фотометрическая головка (типа показанной на рис.1.2.б) устанавливается неподвижно. Если одна лампа закреплена на расстоянии X_1 (рис. 1.3) от экрана, а другая отодвинута на расстояние X_2 и при этом яркость полей сравнения одинакова, то отношение сил света I_1 и I_2 двух ламп определяется равенством

$$I_1 / X_1^2 = I_2 / X_2^2 \quad (1.9)$$

Это равенство выражает т.н. закон обратных квадратов расстояний И.Кеплера (1604), который является основным законом фотометрии. Согласно этому закону, если яркость двух полей сравнения одинакова, то силы света двух ламп обратно пропорциональны квадратам расстояний от соответствующих ламп до экрана фотометра.

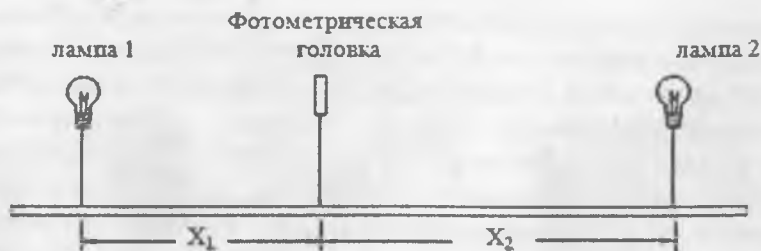


Рис. 1.3. ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СКАМЬЯ, применяемая в визуальной фотометрии (фотометрическая головка показана на рис. 1.2,б).

Лампа 1 неподвижна, а лампу 2 перемещают, добиваясь, чтобы обе лампы казались наблюдателю одинаково яркими.

В некоторых специальных измерениях применяются другие средства изменения яркости поля сравнения, например, поляризатор с анализатором, которые поляризуют и ослабляют проходящий световой поток соответственно своей взаимной ориентации, клинья из серогостекла и быстро вращающиеся диски с секторными вырезами ("вращающиеся секторы"). Диски имеют форму плоской крыльчатки вентилятора. Если диск вращается достаточно быстро, так что не заметно никакого мерцания, то свет ослабляется пропорционально доле полного круга, приходящейся на секторные вырезы. Каков бы ни был выбранный способ регулировки яркости, важно, чтобы изменялась только яркость, но не цвет поля. Относительно световых источников разного цвета установлено, что если цвета различаются более или менее заметно, то результаты сравнения приобретают субъективный характер и даже у одного и того же наблюдателя могут меняться. При этом точность визуальной фотометрии сильно снижается.

Физическая фотометрия. Начало физической фотометрии положили Ю.Эльстер и Г. Гейтель, открывшие в 1889 фотоэффект. В 1908 Ш.Фери разработал электрический фотометр, чувствительность которого к разным длинам волн была близка к чувствительности человеческого глаза. Но лишь в 1930-х годах, после усовершенствования вакуумных фотоэлементов и

изобретения селенового фотодиода, физическая (электрическая) фотометрия стала широко применяемым методом, особенно в промышленных лабораториях.

Электрические фотоприемники, используемые в физической фотометрии, реагируют на свет с разными длинами волн не в точном соответствии с эталоном МКО. Поэтому для них требуется светофильтр - тщательно изготовленная пластинка из цветного стекла или окрашенного желатина, которая пропускала бы свет разных длин волн так, чтобы фотоприемник со светофильтром по возможности точно соответствовал "стандартному наблюдателю".

Следует учитывать, что если световые потоки, различающиеся цветом, сравниваются с применением такого устройства, то результаты сравнения верны лишь условно. На самом деле невозможно гарантировать, что источники, яркость которых одинакова по оценке, основанной на эталоне МКО, покажутся одинаково яркими любому человеку. Выделение признака яркости из общего внешнего вида по-разному окрашенных источников света есть акт мысленного абстрагирования, который даже у одного и того же индивидуума протекает по-разному в разное время, а потому в тех случаях, когда требуются численные оценки, необходима стандартизованная методика измерений.

Фотодиод (иногда называемый вентильным фотоэлементом) представляет собой металлическую пластинку, на которую нанесен тонкий слой полупроводникового материала (например, селена с напыленной поверх него тонкой пленкой золота или другого неокисляющегося металла) (рис. 1.4). Толщина пленки подобрана так, что она проводит электричество, но прозрачна и пропускает свет. Свет, падающий на селен, вызывает дрейф свободных электронов, которые заряжают металлическую пленку отрицательно относительно селена.

Если к такому фотодиоду присоединить микроамперметр с малым сопротивлением, то показываемый им ток будет почти строго пропорционален освещенности фотодиода. Если же сопротивление цепи велико, то это соотношение прямой

пропорциональности нарушается, и в лабораторных условиях применяют специальные схемы, имитирующие нулевое внешнее сопротивление. Простая комбинация фотодиода с микроамперметром используется в фотографических экспонометрах. На фотометрической скамье рис. 1.3 вместо визуального фотометра можно установить фотодиод. Более того, можно установить рядом два фотодиода, обращенных в противоположные стороны, и измерять разность их токов. В таком варианте лампа 1 служит лампой сравнения и остается на своем месте в ходе эксперимента, а лампа, которую требуется сравнить, устанавливается в положение 2, после чего ее перемещают так, чтобы разность токов была равна нулю.

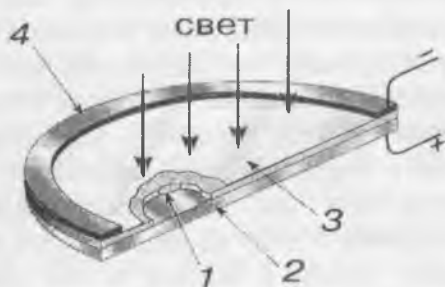


Рис. 1.4. Полупроводниковый фотодиод.

Свет, падающий на слой селена, создает поток электронов, который может быть измерен гальванометром или микроамперметром. 1 - слой селена; 2 - металлическая подложка; 3 - прозрачный слой золота; 4 - металлическое кольцо.

Существуют люксметры, состоящие из фотодиода, корректирующего светофильтра и микроамперметра, широко применяемые инженерами по освещению и другими специалистами. В частности, фотодиод с корректирующим светофильтром используется для повседневных фотометрических измерений всех видов в заводских лабораториях. Если точность 1-2% приемлема, а сила света достаточно велика, то с такими устройствами можно работать без каких-либо затруднений.

В случае слабых источников света, а также в тех случаях, когда требуются повышенная точность и более надежная

калибровка, фотометристы обращаются к вакуумным фотоэлементам. Такой фотоэлемент имеет фотокатод в виде металлической пластинки, обычно покрываемой одним или несколькими тонкими слоями металлов и их оксидов, и второй электрод - анод, причем оба они находятся в стеклянном высоковакуумном баллоне. Когда на фотокатод падает свет с длиной волны, превышающей некоторое "пороговое" значение (зависящее от материала фотокатода), из него выбиваются электроны. Если фотоэлемент включить последовательно с батареей и чувствительным измерительным прибором, как показано на рис. 1.5, то электроны, высвобождающиеся с катода, будут притягиваться анодом.

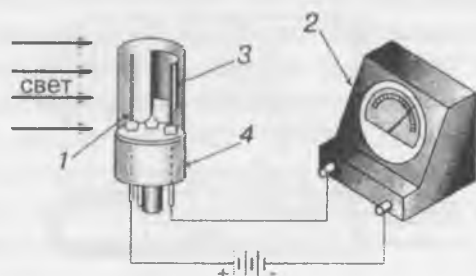


Рис. 1.5. ВАКУУМНЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ.

Фотокатод покрыт калием или цезием, который испускает электроны под действием падающего света. Возникающий при этом ток может быть измерен чувствительным прибором. 1 - анод; 2 - микроамперметр; 3 - фотокатод; 4 - фотоэлемент.

Поток таких электронов, а следовательно, и ток в цепи пропорциональны освещенности.

Вместо измерительного прибора можно использовать электронный усилитель, и тогда слабые токи будут усиливаться. Можно также добавить дополнительные усилительные каскады; тщательно спроектированная аппаратура такого рода позволяет измерять свет звезд, слишком слабый, чтобы его можно было видеть простым глазом. Для повышения чувствительности и стабильности измерений перед фотоэлементом можно установить вращающийся прерыватель света

и усиливать полученный переменный ток. Такой метод особенно эффективен, если усиливаемый ток выпрямляется в точном синхронизме с прерывателем. Это позволяет подавить шумы электронной схемы и прочие помехи.

Для усиления тока можно обойтись без внешнего усилителя, если использовать явление вторичной электронной эмиссии. Соответствующие устройства называются фотоэлектронными умножителями (ФЭУ); некоторые типы ФЭУ схематически изображены на рис. 1.6. Электроны, высвобождающиеся с фотокатода, притягиваются к первому из ряда электродов, называемых динодами.

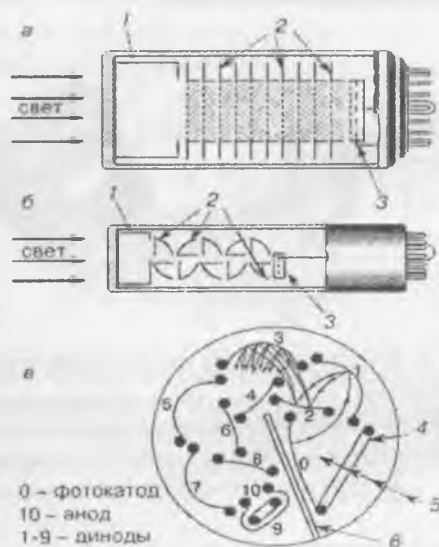


Рис.1.6. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ, которые при одной и той же интенсивности падающего света дают гораздо больший ток, чем фотоэлемент, представленный на рис.

1.4. Коэффициент усиления, зависящий от напряжения на соседних динодах, может достигать 10^7 . 1 - фотокатод; 2 - диноды; 3 - коллектор; 4 - фокусирующая сетка; 5 - падающий свет; 6 - складной экран.

Каждый из них находится под более высоким напряжением, чем предыдущий. Электрон, падающий на диод, высвобождает несколько вторичных электронов; вторичные электроны идут к следующему диоду, и каждый высвобождает еще несколько электронов и т.д. Среднее отношение числа испущенных электронов к числу падающих (коэффициент усиления) можно легко регулировать, изменяя напряжение между соседними диодами. Коэффициент усиления может достигать миллиона и более, причем предел обусловлен только тем обстоятельством, что некоторое количество электронов высвобождается с фотокатода даже в темноте и они умножаются так же, как и другие.

Ни у одного фотоэлемента или фотоэлектронного умножителя кривая спектральной чувствительности не соответствует в точности кривой чувствительности для глаза. Спектральная чувствительность зависит от материала фотокатода. Поэтому в тех случаях, когда приходится сравнивать световые потоки разного цвета, необходим светофильтр, а расчет и градуировка светофильтра для точной фотометрии могут составить основную часть затрат на аппаратуру.

1.1.4. Световая энергия и экспозиция

Классическая фотометрия, основы которой были заложены Буфером и Ламбертом в XVIII в., рассматривала только стационарные процессы излучения и интересовалась его воздействием за большие промежутки времени, которые сами по себе значения не имели.

Однако, уже давно стали выявляться случаи, в которых длительность свечения играла существенную роль. Обратимся для примера к проблесковому огню — одному из видов навигационного ограждения пути корабля в море, осуществляемому с помощью плавающих буйев или бакенов. В темное время суток эти огни, вспыхивающие периодически на десятые доли секунды, позволяют мореплавателю определять свое местонахождение. Темновые паузы имеют значительно большую длительность.

Действие такого проблескового огня зависит не только от его наибольшей силы света (или от максимальной освещенности, производимой им на зрачке наблюдателя), но и от длительности проблеска, а также от того, как меняется сила света (или освещенность на зрачке) за время свечения огня. Поэтому фотометрическая характеристика проблескового огня не может быть исчерпана только его наибольшей силой света за вспышку. Инерционные свойства глаза заставляют принимать во внимание время, в течение которого свет действует на глаз, и вводить новый способ фотометрической оценки, умножая силу света источника (или освещенность зрачка наблюдателя) на длительность свечения.

В качестве другого примера можно указать на импульсные источники света, которые с некоторых пор начали приобретать все более широкое распространение. Длительность свечения импульсных источников измеряется иногда тысячными или миллионными долями секунды, что очень существенно, например, для фотографии. Мгновенные значения сил света (световых потоков, освещенностей), характеризующих мощность этих источников, очень велики, но не они определяют эффект, производимый светом на инерционные приемники типа светочувствительного фотографического слоя или человеческого глаза. Время действия света имеет самое существенное значение, и для описания импульсных источников во многих случаях приходится обращаться к величинам, пропорциональным произведению силы света (светового потока, освещенности) на время излучения.

Когда характеризуют излучение импульсного источника, то надо строго различать, о чем идет речь: о переменной мощности, которая, возрастая от нуля, достигает за малые доли секунды своего максимального значения, а затем падает до нуля, или об энергии импульса, которая представляет собой интеграл от мощности по времени излучения.

При фотохимических процессах (фотография, фотосинтез) результат зависит также не от освещенности светочувствительного слоя, а от произведения освещенности на время, в течение которого она имела возможность действовать на него.

В связи с тем, что число таких случаев непрерывно растет и что они приобретают все большее значение, оказалось необходимым пополнить фотометрическую систему рядом новых величин, из которых в первую очередь надо указать следующие.

1. Световая энергия Q , которая пропорциональна произведению светового потока Φ на время t излучения:

$$Q = \Phi t, \quad (1.10)$$

и измеряется люмен-секундами (лм·с).

2. Экспозиция (или количество освещения) H пропорциональна произведению освещенности E на время t освещения:

$$H = Et, \quad (1.11)$$

и измеряется в люкс-секундах (лк·с).

Полезно отметить, что, умножив правую и левую части выражения $E = d\Phi_{\text{пад}}/d\sigma$ на время t действия источника, получим $Et = \sim dQ/d\sigma$ или

$$H = dQ/d\sigma \quad (1.12)$$

Из последнего выражения видно, что экспозиция (количество освещения) H представляет собой поверхностную плотность световой энергии.

В таблице 1.1 приведены основные фотометрические и энергетические величины и единицы и взаимосвязь между ними.

Таблица 1.1.

Фотометрическая величина		Энергетическая величина	
Наименование и исходная формула	Единица измерения	Наименование и исходная формула	Единица измерения
Поток излучения Φ	лм	Энергетический поток излучения $\Phi_3, \Phi_3 = W/t$	Вт

Продолжение таблицы 1.1.

Световой поток F			
Световая энергия	лм·с	Энергия излучения W	Вт·с
Сила света $I = F/\omega$	кд	Сила излучения $I_s = \Phi_s/\omega$	Вт/ср
Светимость $R = F/S$	лм/м ²	Энергетическая светимость или плотность излучения $R_n = \Phi_s/S$	Вт/м ²
Яркость $B = I/S \cos \alpha$	кд/м ²	Энергетическая яркость $B_s = \Phi_s/\omega S \cos \alpha$	Вт/ср·м ²
Освещенность $E = F/S$	лк	Энергетическая освещенность или облученность $E_s = \Phi_s / S$	Вт/м ²
Количество освещения или экспозиция $H = E \cdot t$	лк·с	Энергетическое количество освещения или облучения $H_s = E_s \cdot t$	Вт·с/м ²

1.2. Законы освещенности и просветленная оптика

1.2.1. Закон обратных квадратов

Закон обратных квадратов расстояний – фундаментальный закон природы и распространяется как на акустику, так и на освещение.

Этот закон был сформулирован И.Кеплером в 1604 году и является основным законом фотометрии. Согласно этому закону, если яркость двух полей сравнения одинакова, то силы света двух ламп обратно пропорциональны квадратам расстоя-

ний от соответствующих ламп до экрана фотометра. В справедливости этого соотношения легко убедиться, рассмотрев световую пирамиду с лампой в вершине (рис. 1.7). Свет, проходящий через сечение A пирамиды на единичном расстоянии от лампы, будет распределен по площади $4A$ на удвоенном расстоянии, по площади $9A$ - на утроенном расстоянии и т.д. Единственное условие применимости этого закона требует, чтобы размеры источника были малы по сравнению с расстоянием.

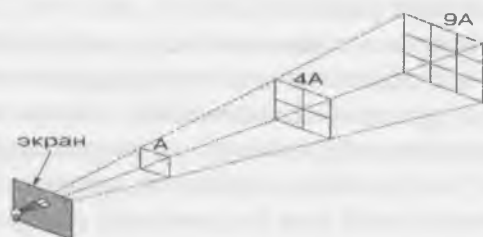


Рис.1.7. Закон обратных квадратов расстояний, основной закон фотометрии.

Для грамотного использования искусственного света любого типа, непрерывного или импульсного (в виде отдельной вспышки или последовательности вспышек), необходимо знать закон обратных квадратов. Этот основной закон фотометрии применим и при съемке с коротких расстояний с помощью специального оборудования, и при работе в темной комнате. Закон обратных квадратов достаточно точно устанавливает связь между расстоянием от теоретического точечного источника и относительной освещенностью. Закон формируется следующим образом: *относительная освещенность на любом радиальном расстоянии от точечного источника света обратно пропорциональна квадрату этого расстояния.* Важное ключевое слово в этой формулировке – *относительная*, поскольку закон сам по себе имеет смысл, когда используется для сравнения уровней освещенности на двух различных расстояниях. Кроме того, используемые единицы измерения, например футы или метры, имеют смысл только в том случае,

если сила света источника по размерности соответствует этим единицам Практически закон обратных квадратов означает следующее:

- при увеличении расстояния в два раза освещенность уменьшается в четыре раза;
- при увеличении расстояния в три раза освещенность уменьшается в девять раз;
- при уменьшении расстояния в два раза освещенность возрастает в четыре раза.

Очень немногие источники света по качеству испускаемого ими излучения приближаются к точечным, но если речь идет об экспозиции и уровнях освещенности, то таковыми можно считать перекальные фотолампы, кинопроекторные лампы, электронные импульсные лампы и другие источники с площадью излучающей или отражающей поверхностей менее 100 см^2 при расстоянии до освещаемой поверхности более 1 м. Закон обратных квадратов фактически означает, что небольшие изменения относительного расстояния между предметом и искусственным источником света могут привести к существенным изменениям освещенности. Согласно этому закону, для удвоения освещенности какой-либо части предмета при съемке нужно приблизить источник света на 30%. В соответствии с этим же законом, чем ближе источник света к «объемному» предмету, тем больше различий в освещенности отдельных участков последнего.

Исходя из упомянутых свойств, было бы правильно расположить мощный источник света вдалеке от «объемного» предмета, а слабый источник – значительно ближе. Аналогично, если вы стоите близко к группе людей и используете портативный источник света или электронную импульсную лампу, целесообразно расположить людей на одинаковом расстоянии от себя по несколько вогнутой линии.

Источники рассеянного света имеют свойства, отличные от свойств точечных источников, особенно в тех случаях, когда они значительно больше освещаемого предмета и расположены на близком расстоянии от него. Действие закона обратных квадратов ослабевает, освещенность предмета становится

значительно более равномерной, а небольшие изменения расстояния от источника до предмета несущественно влияют на экспозицию. По этим причинам, а также благодаря равномерности освещения, отражательным свойствам и минимальному тенеобразованию в студиях часто используют большие отражатели, рассеиватели (диффузоры) и короба с источниками света. Поскольку в этих случаях закон обратных квадратов не действует, важную роль приобретает возможность управления светоотдачей. Даже при использовании сравнительно небольших источников света, подобных портативным электронным импульсным лампам, закон обратных квадратов теряет силу при очень малых расстояниях, таких, как при макрофотосъемке, поскольку рефлектор может быть значительно больше объекта съемки и располагаться очень близко.

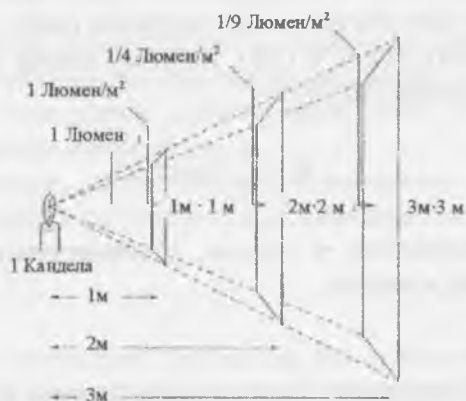


Рис. 1.8. Закон обратных квадратов.

Сущность закона будем объяснять на примерах. Пусть свет от точечного источника освещения будет распространяться расходящимся пучком лучей, и следовательно, чем дальше от источника света, тем большая область будет освещена (рис. 1.8), а уровень освещенности будет соответственно уменьшаться.

На расстоянии в 1 м от источника света 1 люмен создает на поверхности в 1 м² освещенность в 1 люкс.

В 2 м от источника света этот световой поток создает на поверхности в 4 м² освещенность в 1/4 лк.

В 3 м от источника света он создает на поверхности в 9 м² освещенность в 1/9 лк.

Когда расстояние удваивается, то освещенность не уменьшается на 1/2, она уменьшается на 1/4, а именно освещенность уменьшается пропорционально $(1/2)^2$.

$$\text{Освещенность (E)} = \frac{1}{\text{расстояние}^2}, \text{ люкс}$$

Когда расстояние утраивается, то освещенность уменьшается не в 1/3 раза, а в 1/9 раза, то есть $(1/3)^2$. Если бы сила света была удвоена, то освещенность была бы тоже удвоена. Точно так же если бы мы имели источник света в 1000 кандел, то освещенность будет $\times 1000$. Поэтому общее уравнение для величин освещенности будет:

$$E = \frac{J}{S^2}, \text{ люкс,}$$

где E – освещенность, в люксах, J – сила света, в канделах; S – расстояние, в метрах.

Пример 1.

Какая освещенность будет на расстоянии в 5 м от 1,2 - киловаттного НМ1-прожектора с линзой Френеля силой света в 50 000 кандел?

$$E = \frac{J}{S^2} = \frac{50000}{5 \times 5} = 2000 \text{ люкс.}$$

Пример 2.

Какая освещенность будет от 650 - ваттного прожектора с линзой Френеля с силой света в 9000 кандел на расстоянии 3 м?

$$E = \frac{J}{S^2} = \frac{9000}{3 \times 3} = 1000 \text{ люкс}$$

Пример 3.

На какую максимальную дистанцию надо установить 5-киловаттный прожектор с линзой Френеля в 100 000 кандел, если необходимо получить освещенность в 500 люкс?

$$E = \frac{J}{S^2}$$

$$\text{Отсюда, } S^2 = \frac{J}{E} = \frac{100000}{500} = 200.$$

Следовательно, $S = \sqrt{200} = 14,14 \text{ м}$, то есть около 14 метров.

Эти примеры иллюстрируют, насколько просто можно определить освещенность при любой дистанции, если известна эффективная сила света (эффективная сила света обычно относится к центральному лучу).

Строго говоря, закон обратных квадратов относится к свету, излучаемому точечными источниками света или очень маленькими источниками.

Пример 4.

Какой осветительный прибор вы бы использовали, чтобы обеспечить 500 люкс на дистанции не ближе 7 метров?

$$E = \frac{J}{S^2}$$

$$\text{Отсюда, } J = E \cdot S^2 = 500 \times 7 \times 7 = 24\,500 \text{ кандел.}$$

По данным изготовителя, 2-киловаттный прожектор с линзой Френеля имеет 36 000 кд, и поэтому он мог бы использоваться в данном случае.

При обсуждении закона обратных квадратов заслуживающим внимания является часто задаваемый вопрос: «Почему

изображение сцены не становится более ярким, когда зритель/камера перемещается ближе?» Если придвинуть камеру очень близко к объекту и даже взять макрофокус, предмет сохранит ту же самую яркость и отобразится тем же уровнем сигнала яркости в ТВ-тракте. Причина состоит в том, что, хотя камера получит больше света от предмета, изображение предмета будет при этом больше по размеру. Так, с одной стороны, мы получим больше света, а с другой – этот свет «распределится» на более широкой области в плоскости изображения. Поэтому эти два эффекта в итоге компенсируют друг друга, что обеспечивает постоянство экспозиции в камере.

1.2.2. Закон косинуса

В дискуссии о законе обратных квадратов принималось, что падающий свет распространяется по «нормали» к поверхности, то есть под прямым углом (рис. 1.9). Но на практике бывает так, что световой луч направляется под различными углами, и тогда свет «распространяется» по большей области и, следовательно, освещенность (люмен/м²) будет соответственно уменьшаться.

Освещенность уменьшается пропорционально косинусу угла падения, то есть, **Освещенность ~ косинусу (угла падения)**

Полное уравнение закона обратных квадратов выражается следующим образом:

$$E = \frac{I}{s^2} \cdot \cos\alpha, \text{ люкс.}$$

Это, возможно, покажется ненужным осложнением, так как для углов падения, меньших чем 25°, эффект закона косинуса является не столь существенным и его можно проигнорировать:

$\cos 25^\circ = 0.9$, это только 10%-ное снижение уровня освещенности!

При угле падения 60° освещаемая область удваивается!

Освещенность делится на два по сравнению с поверхностью, освещаемой по «нормали»

При угле падения 60° освещаемая область удваивается!

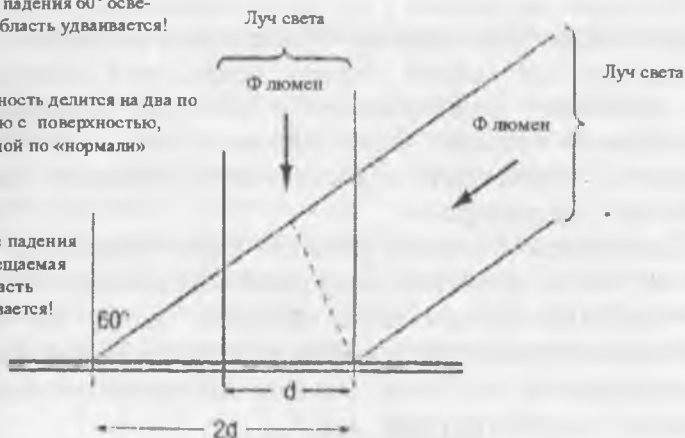


Рис. 1.9. Закон косинуса.

Однако, с большими углами падения снижение становится существенным, то есть при $\cos 45^\circ = 0,7$, что соответствует 30 % ному снижению уровня освещенности, $\cos 60^\circ = 0,5$, соответственно 50 % ное снижение.

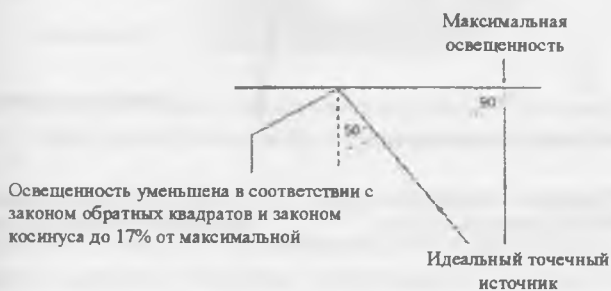
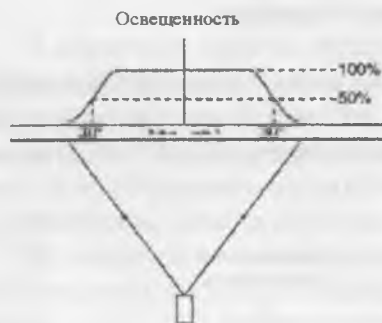


Рис. 1.10. Эффект закона обратных квадратов и закона косинуса.

Следовательно, основным выводом из этого рассуждения будет то, что чем большая площадь может быть освещена и чем больше угол падения луча света от осветительного прибора, тем большая цена будет за это заплачена, и ценой этой будет уменьшение освещенности!

Это видно на рисунке 1.10, где освещенность уменьшается справа налево. Угол падения и расстояния установки лампы различаются для каждой стороны освещаемой поверхности. Это доказывает необходимость в контроле интенсивности освещенности большей части светового луча в приемлемых стандартах, чтобы достичь достаточно однородной освещенности всей поверхности.

Прожекторы с линзой Френеля сконструированы таким образом, чтобы достигать однородной освещенности на широком луче. Конструкция линзы Френеля такова, что эффект компенсации происходит на краях луча, с тем чтобы выиграть в эффективности на более длинной дистанции установки и большем угле действия (рис. 1.11).



Прожектор с линзой Френеля на широком луче



Рис. 1.11. Равномерная освещенность на большей части светового луча.

Рис. 1.12. Правильное измерение освещенности.

Необходимо помнить о законе косинуса, когда производятся измерения падающего света. Чтобы измерять освещенность на поверхности, экспонометр надо держать параллельно освещаемой поверхности — не поворачивая его в сторону камеры или источника света (рис. 1.12).

1.2.3. Просветление оптики. Просветленная оптика

Просветление оптики – это нанесение на поверхность линз, граничащих с воздухом, тончайшей плёнки или нескольких слоёв плёнок один поверх другого. Это позволяет увеличить светопропускание оптической системы и повысить контрастность изображения за счёт подавления бликов. Величины показателей преломления чередуются по величине и подбираются таким образом, чтобы за счёт интерференции уменьшить (или совсем устранить) нежелательное отражение.



Рис.1.13. Объективы с многослойным просветлением, покрытие линз имеет характерный внешний вид.

Просветлённые объективы обычно требуют бережного обращения, так как тончайшие плёнки просветления на линзах легко повредить. Плёнки загрязнения на поверхности просветляющего покрытия (жир, масло), нарушают условия его работы и снижают его эффективность, увеличивая отражение и рассеяние света. Кроме того, загрязнения (в том числе и отпечатки пальцев) со временем могут привести к эрозии просветляющего покрытия. Современные просветляющие покрытия обычно имеют защитный наружный слой, что делает их более стойкими к воздействию окружающей среды.

Просветляющие покрытия отличаются:

- по числу слоёв;

- методами нанесения: травлением, осаждением из раствора, напылением в вакуумных установках;
- составу: обычно это соли и оксиды разных химических элементов.

Исторически первым был метод травления, при котором на поверхности стекла образовывалась плёнка из кремнезёма.

История. Эффект «просветления» оптики в результате естественного старения стекла был обнаружен случайно и независимо друг от друга фотографами в разных странах уже в начале XX века. Было замечено, что объективы, находящиеся в эксплуатации несколько лет давали более четкое и контрастное изображение по сравнению с совершенно новыми аналогичных моделей.

Теоретическое объяснение этому факту было найдено несколько позже – в начале 1920-х годов, опять таки, независимо друг от друга русскими, немецкими и американскими оптиками. Было установлено, что оптическое стекло некоторых сортов при контакте с влажным воздухом склонно к образованию на поверхности тонкой пленки окислов металлов, соли которых легируют стекло. Явление «просветления» было объяснено интерференцией света в тонких пленках.

Достаточно быстро началось внедрение данного эффекта в производство линз. Первые технологии просветления фактически воспроизводили процесс естественного старения поверхности стекла путем травления. В Государственном оптическом институте был предложен и другой процесс – окисление продуктами сгорания этилена при избытке кислорода. Просветленные поверхности таких линз были чрезвычайно устойчивы к износу и действию воды. Для полевых биноклей и очковых линз подобная технология применялась до 1980-х годов. По мере развития технологий вакуумного напыления просветляющую пленку стали наносить как покрытие (в англоязычных источниках появился термин «Coated Lens»). Сначала это были неорганические материалы, но с 1970-х годов стали применяться органические пленки на основе высокомолекулярных соединений.

Просветляющие покрытия стало возможно наносить в несколько слоев, повышая эффективность просветления не только в одном диапазоне длин волн, но и в широком спектре, что особенно актуально для цветной фотографии/киносъемки/видео. В СССР объективы с многослойным просветлением имели в обозначении буквы «МС» (например объектив «МС-Гелиос-44М»), в англоязычных источниках встречалась аналогичная аббревиатура «МС» на латинице (Multilayer Coating).

Применение. Просветление оптики (или антибликовое покрытие) применяется во многих областях, где свет проходит через оптический элемент и требуется снизить потери интенсивности или устранить отражение. Наиболее распространёнными случаями являются линзы очков и объективы камер.

Корректирующие линзы. Антибликовое покрытие наносится на линзы очков, поскольку отсутствие бликов улучшает внешний вид и снижает нагрузку на глаза. Последнее особенно заметно при вождении автомобиля в тёмное время суток и при работе за компьютером. Кроме того, большее количество света, проходящего через линзу, повышает остроту зрения. Часто антибликовое покрытие линз сочетается с другими видами покрытий, например, защищающих от воды или жира.

Камеры. Просветлёнными линзами снабжаются фото- и видеокамеры. За счёт этого увеличивается светопропускание оптической системы и повышается контраст изображения за счёт подавления бликов, однако в отличие от очков объектив состоит из нескольких линз.

Фотолитография. Антибликовые покрытия часто используется в фотолитографии для улучшения качества изображения за счёт устранения отражений от поверхности подложки. Покрытие может наноситься как под фоторезист, так и поверх него, и позволяет уменьшить стоячие волны, интерференцию в тонких плёнках и зеркальное отражение.

Однослойное просветление. Толщина одиночного просветляющего слоя (например, кремниевой кислоты) должна быть равна или кратна $1/4$ длины световой волны. В этом случае лучи, отражённые от её наружной и внутренней сторон, отразятся в противофазе и при равной амплитуде погасятся

вследствие интерференции - интенсивность блика станет равной нулю (рис. 1.14).

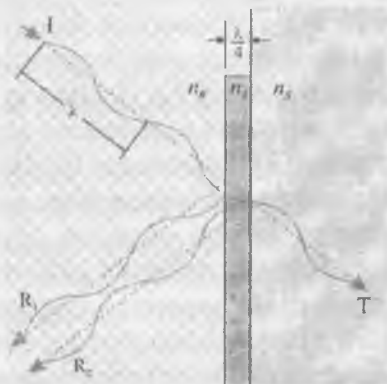


Рис. 1.14. Интерференция в четвертьволновом противобликовом покрытии.

Для наилучшего эффекта (уравнивания амплитуд отражённого света) показатель преломления просветляющей плёнки должен равняться квадратному корню показателя преломления оптического стекла линзы. Традиционным материалом для просветляющей плёнки является фторид магния, обладающий низким ($n=1,38$) показателем преломления.

На кроновом стекле с показателем преломления слой фторида магния может снизить процент отражения с примерно 4% до 2%. На более тяжёлом флинтном стекле с показателем преломления около 1,9 плёнка фторида магния может уменьшить отражение до нуля.

Но отражательная способность стекла, просветлённого таким способом, сильно зависит от длины волны, что является основным недостатком однослойного просветления. Минимум отражательной способности соответствует длине волны $\lambda = 4d \cdot n$, где d - толщина плёнки, n - её показатель преломления. В первых просветлённых объективах добивались понижения коэффициента отражения для лучей зелёного участка спектра (555 нм – область наибольшей чувствительности человеческого

глаза), поэтому на отражении стекла таких объективов имели пурпурную или голубовато-синюю окраску («голубая оптика»). Напротив, пропускание света таким объективом максимально для зелёного участка спектра, что приводило к изменению цветового тона изображения.

В настоящее время однослойное просветление (главное его преимущество - дешевизна) используется в бюджетных оптических узлах и в лазерной оптике, рассчитанной на работу в узком спектральном диапазоне.

Двухслойное просветление. Состоит из двух просветляющих слоёв, наружный - с меньшим коэффициентом преломления. Имеет лучшие характеристики, чем однослойное.

Многослойное просветление. Многослойное просветляющее покрытие представляет собой последовательность из не менее чем трёх чередующихся слоёв материалов с различными показателями преломления. Раннее считалось, что для видимой области спектра достаточно 3-4 слоёв. Современные многослойные просветляющие покрытия практически всех изготовителей имеют 6-8 слоёв и характеризуются низкими потерями на отражение во всей видимой области спектра. Основное преимущество многослойного просветления применительно к фотографической и наблюдательной оптике — незначительная зависимость отражательной способности от длины волны в пределах видимого спектра.

Отражения от поверхности линз с многослойным просветлением, вызванные отражением на спектральных границах просветлённой области, имеют различные оттенки зелёного и фиолетового цвета, вплоть до очень слабых серо-зеленоватых у объективов последних годов выпуска. Но это не есть показатель качества просветляющей системы.

Оптика с многослойным просветлением ранее маркировалась буквами МС - МногоСлойное, MultiCoating (например, МС Мир-47М 2,5/20) Как правило, аббревиатура "МС" подразумевала трёхслойное просветление. В настоящее время специальное обозначение многослойного просветления встречается редко, так как его использование стало стандартом. Иногда встречаются «фирменные» обозначения особых его

разновидностей SMC (Super Multi Coating, Pentax), HMC (Hyper Multi Coating, Hoya), MRC (Multi-Resistant Coating, B+W), SSC (Super Spectra Coating, Canon), SIC (Super Integrated Coating), Nano (Nikon), EBC (Electron Beam Coating, Fujinon/Fujifilm), T* (Zeiss), "мультипросветление" (Leica), "ахроматическое покрытие" (Minolta), и другие.

В состав многослойного просветляющего покрытия, помимо собственно просветляющих слоёв, обычно входят вспомогательные слои — улучшающие сцепление со стеклом, защитные, гидрофобные и др.

Инфракрасная оптика. Некоторые оптические материалы, используемые в инфракрасном диапазоне, имеют очень большой показатель преломления. Например, у германия показатель преломления близок к 4,1. Такие материалы требуют обязательного просветления.

1.3. Методы измерения световых характеристик источников света

1.3.1. Принципиальные схемы фотометров прямого отсчета, работающих по принципу сравнения

Одна из характеристик лампы или осветительной арматуры, необходимая инженеру по освещению — это испускаемое ею полное количество света. Только измерив эту величину, можно определить относительную эффективность осветительных устройств. Имеются два существенно различающихся способа измерения полного светового потока: гониометрический метод и метод "интегрирующей сферы" ("сферы Ульбрихта").

Гониометр — это приспособление, позволяющее измерять освещенность, создаваемую лампой, в любом желаемом направлении. Лампа либо неподвижна, либо вращается вокруг вертикальной оси так, чтобы распределение света лампы не изменялось.

Поэтому фотометр (обычно фотоэлектрический) закрепляют на конце длинного качающегося держателя, или используют подвижные зеркала. Во избежание больших поправок расстояние от лампы до фотометра выбирают на порядок больше максимального размера лампы; поэтому гониометр для больших люминесцентных ламп занимает много места. После того как измерена освещенность во многих направлениях, вычисляют полный световой поток.

Интегрирующая сфера (рис. 1.15) представляет собой полый шар, выкрашенный изнутри матовой белой краской. Внутри сферы подвешивается лампа или арматура с экраном, закрывающим ее со стороны небольшого окошка из опалового стекла (освещенность которого измеряется). Внутри подвешивается также эталонная лампа (световой поток которой точно измерен при помощи гониофотометра), закрытая экранами со стороны первой лампы и окошка. Освещенность окошка при включенной той или другой лампе пропорциональна ее полному световому потоку (если не считать поправок, которые существенны, когда лампы имеют разные размеры или форму либо заметно различаются цветом испускаемого света).



Рис. 1.15. ИНТЕГРИРУЮЩАЯ СФЕРА для измерения полного количества света, испускаемого лампой во всех направлениях. За окошком снаружи расположен фотометр, который сравнивает полные световые потоки двух ламп, включаемых по очереди.

Специальные фотометры. Кроме рассмотренных приборов, существуют специальные фотометры для измерения яркости поверхностей, коэффициентов пропускания и отражения разных образцов, характеристик световозвращающих отражателей (дорожно-маркировочной краски, дорожных знаков), освещенности улиц и пр.

Основные фотометрические величины и единицы. Поток световой энергии измеряется в люменах. Определить световой поток в 1 лм невозможно, не обращаясь к светящимся телам, и основной мерой света долгое время была "свеча", которая считалась единицей силы света.

Настоящие свечи уже более века не используются в качестве меры света, так как с 1862 года стала применяться специальная масляная лампа, а с 1877 - лампа, в которой сжигался пентан. В 1899 в качестве единицы силы света была принята "международная свеча", которая воспроизводилась с помощью поверяемых электрических ламп накаливания. В 1979 была принята несколько отличающаяся от нее международная единица, названная канделой (кд). Кандела равна силе света в данном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частоты $540 \cdot 10^{12}$ Гц ($\lambda = 555$ нм), энергетическая сила светового излучения, которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Чтобы дать определение люмена, рассмотрим точечный источник с силой света 1 кд во всех направлениях. Такой источник испускает полный световой поток, равный 4π лм. Если источник с силой света 1 кд освещает обращенную к нему небольшую пластинку, находящуюся на расстоянии 1 м, то освещенность поверхности этой пластинки равна 1 лм/м^2 , т.е. одному люксу. Протяженный источник света или освещенный предмет характеризуется определенной яркостью (фотометрической яркостью). Если сила света, испускаемого 1 м^2 такой поверхности в данном направлении, равна 1 кд, то ее яркость в этом направлении равна 1 кд/м^2 . (Яркость большинства тел и источников света в разных направлениях неодинакова.)

1.3.2. Виды фотометрических измерений

Основные виды фотометрических измерений таковы: 1) сравнение силы света источников; 2) измерение полного потока от источника света; 3) измерение освещенности в заданной плоскости; 4) измерение яркости в заданном направлении; 5) измерение доли света, пропускаемой частично прозрачными объектами; 6) измерение доли света, отражаемой объектами.

Поток энергии излучения. Телесный угол. Электромагнитное излучение, как и любые волны, при своем распространении в какой-либо среде переносит энергию от точки к точке. Если на некотором расстоянии от источника электромагнитных волн мысленно выделить поверхность так, чтобы сквозь нее проходили волны, то энергию, переносимую этими волнами через поверхность за единицу времени, называют *поток*ом излучения или *лучистым* потоком через выделенную поверхность; поток излучения имеет размерность мощности и измеряется в ваттах.

Когда расстояние от источника электромагнитного излучения до выделенной поверхности велико по сравнению с размерами самого источника, его можно назвать *точечным*. Часто условно считают, что излучение точечного источника не зависит от направления, т. е. происходит равномерно во все стороны.

Поток излучения, падающий на какую-либо поверхность, зависит от площади этой поверхности S , от ее положения в пространстве и от расстояния до источника излучения.

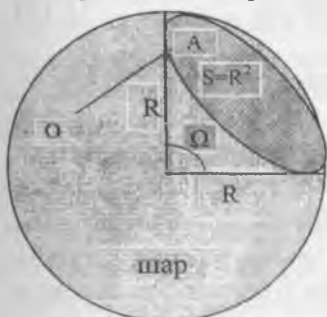


Рис.1.16. Телесный угол

В большинстве случаев приходится рассматривать поток излучения, распространяющийся в ограниченной части пространства. Например, если источник излучения O , линейные размеры которого малы по сравнению с R (рис. 1.16), посылает излучение на площадку S , перпендикулярную к направлению распространения излучения, то на нее

попадает только излучение, ограниченное заштрихованной конической поверхностью с вершиной в точке О.

Часть пространства, ограниченную конической поверхностью, называют *телесным углом* Ω . Точку О на рис. 1.16 называют вершиной телесного угла. Когда вершина телесного угла находится в центре шара, угол называют центральным. Если из точки О провести шаровые поверхности с различными радиусами R , то, как известно из геометрии, для заданного телесного угла отношение площади вырезанной этим углом поверхности шара S к R^2 для всех поверхностей будет одинаково и может служить мерой телесного угла, т.е.

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad (1.13)$$

Найдем единицу телесного угла Ω :

$$\Omega = 1 \text{ м}^2 / 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ ср.}$$

Стерadianом (ср) называют центральный телесный угол, который вырезает на поверхности шара площадь, равную квадрату радиуса этого шара. Поскольку площадь сферической поверхности выражается формулой $S_{ш} = 4\pi R^2$, то во всей поверхности шара квадрат его радиуса содержится 4π раз. Это означает, что полный телесный угол $\Omega_{п}$, охватывающий все пространство, содержит 4π ср, т.е.

$$\Omega_{п} = \frac{S}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ ср.} \quad (1.14)$$

Когда нужно оценить излучение, распространяющееся от источника О в заданном направлении ОА, то рассматривают лучистый поток в очень малом угле $d\Omega$, который вырезает на поверхности шара площадь dS с центром в точке А. Разделив всю поверхность шара на равные площади dS и измерив потоки, которые попадают на каждую из них, можно узнать, в каком направлении испускается больший поток излучения, а в каком меньший.

Световой поток. Световое ощущение у человека создает электромагнитное излучение с длиной волны в вакууме в диапазоне примерно от 380 до 780 нм, причем каждой длине волны в этом диапазоне соответствует определенное цветовое ощущение.

Опыты показали, что лучистые потоки, одинаковые, но соответствующие различной длине волны, вызывают неодинаковое раздражение окончаний светочувствительного нерва на сетчатке глаза и поэтому создают световые ощущения, отличающиеся не только по цвету, но и по интенсивности. Наиболее чувствителен наш глаз к излучению с длиной волны 555 нм (зеленый цвет). Одинаковые лучистые потоки с длиной волны, большей или меньшей 555 нм, создают более слабое световое ощущение. Чтобы оценить эту разницу количественно, поступим следующим образом.

Возьмем источники монохроматического излучения разных цветов, но одинаковой мощности (например, в 1 Вт) и будем поочередно сравнивать их в одинаковых условиях с источником излучения с длиной волны 555 нм, мощность которого можно регулировать. Тогда для каждого монохроматического источника мы сможем подобрать такую мощность эталонного источника с длиной волны $\lambda = 555$ нм, чтобы световые ощущения, создаваемые этими источниками, были одинаковы по интенсивности. Для сравнения источников можно например, освещать ими соседние участки одного текста, добиваясь одинаковой четкости (удобства чтения).

Назовем отношение найденной из таких опытов мощности эталонного источника с длиной волны $\lambda = 555$ нм к мощности сравниваемого с ним монохроматического источника *коэффициентом относительной видности*. Оказывается, например, что лучистый поток оранжевых лучей ($\lambda = 610$ нм) мощностью в 1 Вт создает световое ощущение такой же интенсивности, как поток зеленых лучей ($\lambda = 555$ нм) мощностью 0,5 Вт. Значит, для длины волны $\lambda = 610$ нм коэффициент относительной видности $K = 0,5$. На рис. 1.17 показана полученная с помощью таких опытов зависимость коэффициента видности от длины волны излучения в вакууме. (Ясно, что для $\lambda = 555$ нм $K = 1$.) Этот

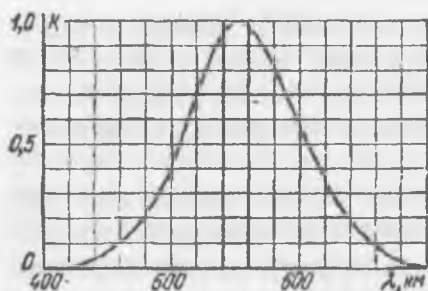


Рис.1.17. Зависимость коэффициента видности или коэффициента чувствительности глаза от длины волны излучения.

график называют *кривой относительной видности* или *кривой спектральной чувствительности глаза*. Заметим, что ночью кривая спектральной чувствительности глаза несколько сдвигается в сторону коротких длин волн, т. е. влево.

Из изложенного выше следует, что лучистый поток, создающий у людей световое ощущение, выра-

жать в ваттах очень неудобно. Поэтому для оценки действия излучения на глаз пользуются *световым потоком Φ* . *Световым потоком называют ту часть потока излучения, которая вызывает в глазу ощущение света и оценивается по световому ощущению.*

Раздел оптики, занимающийся измерениями светового потока, изучением характеристик источников света и освещенностей предметов, называют *фотометрией* (от греч. «фотос» - свет). Отметим еще, что часть электромагнитного излучения, вызывающую световые ощущения, часто называют *световым излучением*, количественным выражением которого и является световой поток Φ .

Сила света. *Единицы силы света и светового потока.* Световой поток Φ всегда создается каким-либо источником света. Реальные источники света излучают световой поток по различным направлениям неравномерно.

Величина, которая характеризует зависимость светового потока, испускаемого источником света, от направления излучения, называется силой света J . Сила света источника малых размеров измеряется световым потоком, испускаемым этим источником внутрь единичного телесного угла в заданном направлении:

$$J = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (1.15)$$

Для реального источника света при определении силы света в каком-либо направлении измеряют световой поток $d\Phi$ в малом угле $d\Omega$ и затем находят J по формуле (1.15). Если же сила света источника слабо зависит от направления, то формула (1.15) будет справедлива и для больших углов:

$$J = \frac{\Phi}{\Omega}$$

В дальнейшем мы будем считать силу света точечного источника по всем направлениям одинаковой.

В СИ единица силы света *кандела* (от лат. «кандела» - свеча) является шестой основной единицей. Канделой (кд) называют $1/60$ силы света, создаваемой 1 см^2 плоской поверхности платины при температуре ее затвердевания (2046 К) по направлению перпендикуляра к этой поверхности.

Для источников света, сила света которых зависит от направления, иногда пользуются средней сферической силой света J_{cp} . Ее находят из соотношения

$$J_{cp} = \frac{\Phi_n}{4\pi}, \quad (1.16)$$

где Φ_n - полный световой поток лампы.

Выведем единицу светового потока в СИ:

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

В СИ за единицу светового потока принят *люмен* (лм). Люменом называют световой поток, испускаемый точечным источником света в 1 кд внутрь телесного угла в 1 ср.

Так как полный телесный угол содержит 4π стерadian, то полный поток, испускаемый точечным источником света, выразится формулой

$$\Phi_n = 4\pi J. \quad (1.17)$$

Измерения показали, что 1 лм монохроматического светового потока с длиной волны 555 нм соответствует лучистому потоку в 0,00161 Вт. т. е. 1 Вт такого излучения составляет 621 лм.

В применении к электрическим лампам количество люменов светового потока Φ , которое приходится на один ватт мощности P электрического тока в лампе, называют световой отдачей к лампы:

$$\Psi = \frac{\Phi}{P}. \quad (1.18)$$

Например, лампа накаливания мощностью 100 Вт имеет среднюю сферическую силу света около 100 кд. Полный световой поток такой лампы, подсчитанный по формуле (1.17), составляет $\Phi_{\text{п}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 100 \text{ кд} = 1256 \text{ лм}$, а световая отдача равна 12,6 лм/Вт. Световая отдача ламп дневного света в несколько раз выше, чем у ламп накаливания.

Освещенность. Темной ночью или в пещере окружающие нас тела невидимы. Однако горящая спичка в этих случаях будет ясно видна, как и близкие к ней предметы. Это объясняется тем, что от источника света, в данном случае от спички, распространяется световой поток. Часть светового потока, который падает на другие тела, отражается и, попадая в глаз человека, позволяет ему видеть их. Чем больший световой поток упадет на рассматриваемые тела, тем больше будет и отраженный световой поток и человек отчетливее сможет видеть эти тела.

Величину E , характеризующую различную видимость отдельных тел и обусловленную величиной падающего на них светового потока, называют освещенностью. Освещенность определяется световым потоком, приходящимся на единицу площади этой поверхности, т. е.

$$E = \frac{d\Phi}{ds}. \quad (1.19)$$

При равномерном распределении падающего на поверхность светового потока ее освещенность измеряется световым потоком, приходящимся на единицу площади этой поверхности, т. е.

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (1.19a)$$

Когда формулой (1.19a) пользуются при неравномерном распределении потока Φ на площадь S , то получают среднюю освещенность этой поверхности. Выведем единицу освещенности E в СИ:

$$E = 1 \text{ лм/л м}^2 = 1 \text{ лм/м}^2 = 1 \text{ лк.}$$

В СИ за единицу освещенности принимается люкс (лк) (от лат. «люкс» - свет).

Люксом называют освещенность такой поверхности, на каждый квадратный метр которой равномерно падает световой поток в один люмен.

Приведем несколько примеров. Солнечные лучи в полдень (на средних широтах) создают освещенность порядка 100 000 лк, а полная Луна - около 0,2 лк. Лампа накаливания мощностью 100 Вт, висятая на высоте 1 м над столом, создаст на поверхности стола (под лампой) освещенность 100 лк.

Яркость. Читая книгу, мы отчетливо видим буквы на белом фоне листа, хотя его освещенность можно считать везде одинаковой. Объясняется это тем, что белый лист и буквы по-разному отражают падающий на них световой поток.

Поскольку от листа бумаги распространяется световой поток, то лист можно считать источником света. Заметим, что от листа распространяется не его собственный свет, а отраженный, поэтому лист удобно назвать вторичным источником света. Величина светового потока, распространяющегося как от первичного, так и от вторичного источника света, вообще говоря, зависит от направления. Это означает, что, подобно первичным источникам света, вторичные источники

можно характеризовать силой света. Белая поверхность листа кажется нам значительно ярче, чем буквы на ней, поэтому сила света с единицы площади в первом случае больше, чем во втором.

Итак, различные области поверхностей реальных источников света (первичных и вторичных), рассматриваемые по определенному направлению, могут значительно отличаться своей яркостью, например, одни витки спирали включенного в сеть электрического нагревателя кажутся светлее, чем другие.

Величину B , характеризующую различную видимость отдельных участков поверхности в заданном направлении, обусловленную распространяющимся от этой поверхности световым потоком, называют яркостью. При равномерном распространении светового потока от всех участков поверхности в выбранном направлении яркость измеряют силой света с единицы площади этой поверхности. Если сила света определяется по направлению перпендикуляра к поверхности, то яркость последней находится по формуле

$$B = \frac{I}{S}. \quad (1.20)$$

В общем случае яркость поверхности B представляет собой отношение силы света в данном направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную заданному направлению:

$$B = \frac{dJ_a}{dS \cos \alpha}.$$

Выведем единицу яркости в СИ:

$$B = 1 \text{ кд/л м}^2 = 1 \text{ кд/м}^2.$$

За единицу яркости в СИ принимают кд/м² - яркость такой плоской, равномерно светящейся поверхности, с каждого квадратного метра которой в перпендикулярном к ней направлении получается сила света в 1 кд.

Заметим, что наименьшая яркость, на которую реагирует глаз человека; составляет около 10^{-6} кд/м², а яркость более 10^5 кд/м² вызывает болезненное ощущение в глазу и может повредить зрение. Яркость поверхности Солнца составляет $1,5 \cdot 10^9$ кд/м², а поверхности Луны - $2,5 \cdot 10^3$ кд/м². Яркость волоска лампы накаливания - $(1,5-2) \cdot 10^6$ кд/м².

1.3.3. Фотометрический шар, принцип использования фотометрического шара для измерений светового потока

Полная сфера. Сфера с отверстиями. Представим себе, что внутренняя поверхность шаровой полости с центром О и радиусом r (рис. 1.18) покрыта белым матовым слоем, который рассеивает падающую на него радиацию в соответствии с законом Ламберта и имеет коэффициент отражения ρ . Представим себе также, что малый участок s этой поверхности, лежащий у точки А, в силу каких-то причин сделался источником излучения, причем яркость L источника одинакова во всех направлениях.

Определим освещенность E_0 , которую светящийся участок s создаст на поверхности шара в точке N. Обозначив через φ угол, составленный радиусом АО и направлением AN, напомним, что в направлении AN сила света источника $I = Ls \cos \varphi$. Освещенность $E_0 = I \cos \varphi / l^2$, где $l = AN = 2r \cos \varphi$. Окончательно получим

$$E_0 = Ls \cos \varphi \cdot \cos \varphi / (4r^2 \cdot \cos^2 \varphi) = Ls / (4r^2). \quad (1.21)$$

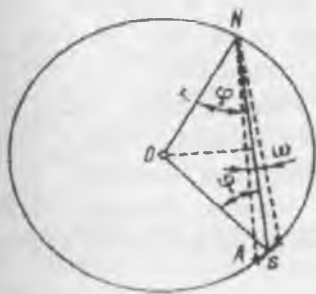


Рис.1.18. Равномерное освещение малым участком s внутренней поверхности фотометрического шара.

Из написанного выражения видно, что освещенность E_0 не зависит от угла φ , т. е. от положения точки N на поверхности шара. Иными словами, этот результат можно выразить так: световой поток, излучаемый источником s , распределяется равномерно по всей поверхности шара. Действительно, если разделить поток $\Phi_0 = \pi Ls$, излучаемый источником, на площадь сферы $S = 4\pi r^2$, то полученное частное совпадает с выражением (1.21), т. е. $E_0 = \Phi_0/S$. Световой поток Φ_0 , упавший на поверхность шара, будет частично поглощен, и частично отражен. Так как слой, покрывающий стенку шара, рассеивает падающую радиацию по закону Ламберта, то световой поток $\Phi_1 = \rho\Phi_0$, отраженный один раз от стенки, снова равномерно распределится по внутренней поверхности шара и создаст на ней первую дополнительную освещенность

$$E_1 = \Phi_1/S = \rho E_0. \quad (1.22)$$

Световой поток Φ_1 , создающий освещенность E_1 будет частично отражен и снова равномерно распределится по стенке шара, в результате чего на ней получится вторая дополнительная освещенность $E_2 = \Phi_2/S = \rho^2 \Phi_0/S$, и т.д.

Полная освещенность E , которая установится на стенке шара после бесчисленного множества отражений, будет

$$\begin{aligned} E &= E_0 + E_1 + E_2 + E_3 + \dots = (1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots) E_0 = \\ &= \frac{E_0}{1 - \rho} = \frac{\Phi_0}{S(1 - \rho)} \end{aligned} \quad (1.23)$$

К этому выражению можно прийти и другим путем. Световой поток, поступающий в шар, равен Φ_0 . Световой поток, поглощаемый на стенках шара, равен $ES(1 - \rho)$, где E — освещенность, установившаяся на стенке шара после всех отражений, а $(1 - \rho)$ — коэффициент поглощения стенки. Стационарное состояние определится равенством потоков, поступающих в шар и поглощаемых на стенках. Отсюда следует равенство $\Phi_0 = ES(1 - \rho)$, которое точно соответствует выражению (1.23).

Рассмотрим полную сферу еще с одной точки зрения. В произвольную точку N на ее поверхности (рис.1.15) падают лучи постоянной яркости L' в пределах телесного угла 2π . Исключение составляет малый телесный угол ω , в пределах которого из точки N виден светящийся участок s . В пределах этого угла яркость стенки равна $L' + L$, где L — яркость источника s . Яркость $L' = \rho E/\pi$, а освещенность, которую она определяет, заполняя угол 2π , $E' = \pi L' = \rho E$. Кроме того, источник s создает первоначальную освещенность E_0 . Суммируя, получим $\rho E + E_0 = E$, что также совпадает с выражением (1.23).

Если коэффициент отражения ρ мал, то полная освещенность E стенки шара мало отличается от той первоначальной $E_0 = \Phi_0/S$, которую создает поток Φ_0 , распределившийся по поверхности S . Если коэффициент ρ велик, то дополнительная освещенность, возникающая за счет повторных отражений, может оказаться значительной. Из выражения (1.23) видно, что при $\rho = 0,8$ дополнительная освещенность в 4 раза (а при $\rho = 0,9$ — в 9 раз) превосходит первоначальную освещенность E_0 . Если ρ стремится к единице, то полная освещенность растет беспредельно.

Однако в действительности нам неизвестны покрытия с коэффициентом отражения, равным единице, так что бесконечно большая освещенность на внутренней стенке полого шара невозможна.

Беспредельному росту освещенности E мешает и то, что на практике поверхность каждого используемого шара имеет одно или несколько отверстий. Обозначим площадь сферы, вырезанную каждым из этих отверстий, буквами $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n$ и пусть $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \dots + \sigma_n$ представляет собой общую площадь поверхности шара, вырезанную всеми отверстиями. Каждое из отверстий следует рассматривать как такой участок общей площади S шара при падении на нее потока Φ_0 , остается прежней: $E_0 = \Phi_0/S$, но поток, поглощает весь падающий на него поток.

Рассмотрим подробнее, как влияют отверстия в стенке шара на окончательную освещенность E . Будем по-прежнему считать, что малый участок s стенки шара излучает, согласно

закону Ламберта, световой поток $\Phi_0 = \pi Ls$. Первоначальная освещенность E_0 , которая получается на стенке шара при падении на нее потока Φ_0 , остается прежней: $E_0 = \Phi_0/S$, но поток, отраженный от стенки шара, изменится, так как отражать будет не вся площадь S , а только ее часть $S - \sigma$. Отраженный поток $\Phi_1 = \rho E_0(S - \sigma)$ распределится равномерно по всей площади шара и создаст первую дополнительную освещенность $E_1 = \Phi_1/S = \rho E_0(S - \sigma)/S$. Последующие отражения можно учесть аналогичным образом и найти, что освещенность, полученная после двукратного отражения, окажется $E_2 = \Phi_2/S = \rho E_1(S - \sigma)/S = \rho^2 E_0(1 - \sigma/S)^2$ и т. д. Полная освещенность

$$E = E_0 + E_1 + E_2 + \dots = E_0[1 + \rho(1 - \sigma/S) + \rho^2(1 - \sigma/S)^2 + \dots] = E_0/[1 - \rho(1 - \sigma/S)] = E_0/(1 - \rho'), \quad (1.24)$$

где $\rho' = \rho(1 - \sigma/S)$ можно назвать средним коэффициентом отражения стенки шара. Из выражения (1.24) видно, что средний коэффициент отражения стенки шара, имеющего отверстия, всегда будет меньше единицы и не допустит беспредельного возрастания освещенности стенки, даже если ρ стремится к единице.

Выражение (1.24) можно получить и из соображений энергетического баланса. Пусть по-прежнему Φ_0 – световой поток, поступающий в шар и равномерно распределяющийся по его поверхности S . Поток, поглощаемый на стенках, равен $E(S - \sigma)(1 - \rho) + E\sigma$, где E – освещенность, одинаковая во всех точках шара, а σ – общая площадь вырезанных отверстиями поверхности шара. Стационарное положение соответствует равенству между поступающим и поглощаемым потоками, т. е.

$$Y_0 = Y_x(bI - \sigma)(d - \rho) + \sigma b = Y_b I(d - \rho b) \quad (1.25)$$

где ρ' представляет собой средний коэффициент отражения стенки шара. Выражение (1.25) не отличается от выражения (1.24).

Геометрическое следствие. Представим себе полную сферу, абсолютно черная стенка которой излучает по закону

Ламберта и имеет яркость L . Пусть эта сфера (рис. 1.19), площадь поверхности которой S , делится некоторой плоскостью N на два сферических сегмента с площадями S_1 и S_2 и в сечении со сферой образуется круг площадью s . Световой поток Φ , проходящий через круг s , можно найти двумя путями. Прежде всего можно воспользоваться тем, что освещенность в каждой точке круга равна πL , следовательно, поток, проходящий через него, $\Phi = \pi L s$.

Вместе с тем поток, который пройдет через круглое сечение со стороны сегмента S_1 будет равен потоку, который упадет от сегмента S_1 на сегмент S_2 . Сегмент S_1 излучает поток $\pi L S_1$ который равномерно распределяется по всей шаровой поверхности и создает на ней освещенность $\pi L S_1 / S$. Отсюда следует, что на сегмент S_2 упадет поток $\Phi = \pi L S_1 S_2 / S$. (Такой же поток посылает сегмент S_2 на сегмент S_1 .) Приравняв два выражения для потока Φ , найдем, что $s = S_1 S_2 / S$ или $s S = S_1 S_2$, т. е. *произведение площади всей сферы на площадь ее плоского сечения равно произведению площадей сегментов, на которые плоское сечение делит поверхность сферы.*

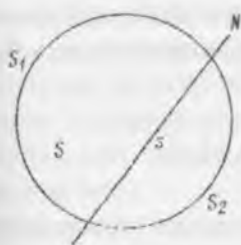


Рис. 1.19. Плоскость N делит поверхность S шара на две части S_1 и S_2 .

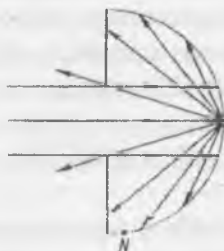


Рис. 1.20. К расчету освещенности поверхности полушара, освещенного «параллельным» пучком.

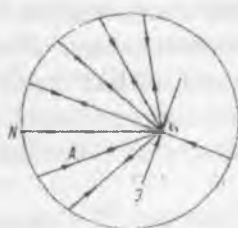


Рис. 1.21. Непоглощающий экран внутри фотометрического шара.

Задача 1. Полусфера радиусом 1 м покрыта изнутри слоем белой.

Задача 1. Полусфера радиусом 1 м покрыта изнутри слоем белой рассеивающей краски с коэффициентом отражения $\rho = 0,85$. Основание полусферы закрыто черным экраном (рис. 1.20) с центральным отверстием, радиус которого равен 30 см. Считая, что поверхность экрана ничего не отражает и что поверхность полушара рассеивает в соответствии с законом Ламберта, рассчитать освещенность E в точке N , если внутрь полушара входит пучок, перпендикулярный к его основанию, создающий в плоскости отверстия освещенность, равную 250 лк.

Внутрь полушара входит световой поток, равный $250\pi \cdot (0,3)^2 = 70,7$ лм. Освещенный участок полусферы рассеивает по закону Ламберта световой поток $\Phi = 70,7 \cdot 0,85 = 60,1$ лм, который распределился бы равномерно по всей поверхности полного шара, создав на ней первоначальную освещенность $E_0 = \Phi/S = 60,1/12,57 = 4,78$ лк.

Для того чтобы определить полную освещенность E , которая получится на участке полусферы, закрытом от прямого пучка, надо воспользоваться выражением (1.24). Полусферу, закрытую абсолютно черным основанием, следует рассматривать как полную сферу с отверстием, вырезавшим половину площади шара. Поэтому средний коэффициент отражения $\rho' = \rho(1 - \sigma/S) = \rho/2 = 0,425$, откуда

$$E = E_0/(1 - \rho') = 4,78/0,575 = 8,31 \text{ лк.}$$

Задача 2. Однородная и непросвечивающая поверхность шаровой полости излучает по закону Ламберта и имеет во всех точках собственную яркость L и коэффициент отражения ρ . Внутрь полости внесен плоский непросвечивающий экран Э (рис. 1.21), имеющий коэффициент отражения, равный единице. Как скажется присутствие такого экрана на распределении освещенности по поверхности шара?

Окончательная яркость L стенки шара, устанавливающаяся в результате многократных отражений излученного в шар потока, окажется больше L' ($L = L' + L''$), причем дополнительную яркость L'' легко найти, пользуясь методом светового

баланса, т. е. уравнивая световые потоки – излученный внутрь шара и поглощенный его стенкой. Уравнение баланса для единицы площади имеет вид $\pi L' = E(1 - \rho)$, где $E = \pi L$ – окончательная освещенность стенки шара, а $(1 - \rho)$ – ее коэффициент поглощения.

Из написанных равенств получаем

$$L = L' / (1 - \rho); L'' = L' \rho / (1 - \rho). \quad 1.26)$$

Введение в шар непросвечивающего экрана, препятствующего прохождению светового потока, должно сказаться на распределении освещенности, если этот экран поглощает часть падающей энергии. Такой экран будет уменьшать освещенность стенки особенно значительно в тех ее участках, из которых экран виден под большим телесным углом.

Дело будет обстоять иначе, если непросвечивающий экран отражает всю падающую на него энергию. Каждый элемент этого экрана (рис. 1.21) находится в условиях идеально диффузного освещения, вследствие чего его коэффициент яркости β^A в любом направлении A равен его коэффициенту отражения ρ_A для пучка, падающего на экран вдоль той же прямой A . Но $\rho_A = 1$, следовательно, и $\beta^A = 1$. Иначе говоря, непоглощающий экран будет во всех направлениях иметь яркость L . При этом все лучи, сходящиеся в точке N поверхности шара будут иметь яркость L независимо от того, имеется в шаре непоглощающий экран или нет.

1.4. Фотометрические свойства тел

1.4.1. Изучение отражения, поглощения, пропускания света различными материалами

Фотометрические, т. е. оптические, свойства окружающих нас предметов определяют яркость и цветность (окраску), которые они принимают под влиянием падающего излучения.

Для определенности будем считать, что освещаемый предмет всегда представляет собой плоский слой (рис. 1.22), толщина которого, кроме особо оговоренных случаев, мала по сравнению с линейными размерами его освещенной поверхности.

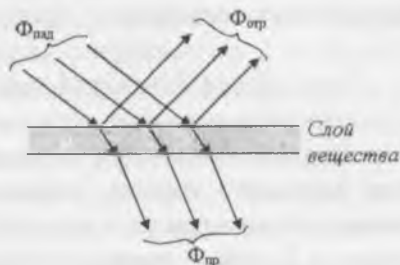


Рис. 1.22. Схема разделения светового потока, падающего на слой вещества.

Плоский слой делит окружающее пространство на два «полупространства»: одно из них расположено перед слоем, другое - позади него. Из первого полупространства свет падает на слой и частично проходит через него во второе полупространство.

Пусть на поверхность слоя падает произвольно распределенный по направлениям световой поток $\Phi_{\text{пад}}$ (на рис. 1.22 он схематически изображен пучком параллельных прямых). Освещенный слой разделит упавший на него световой поток на три части: поток, отраженный от слоя ($\Phi_{\text{отр}}$) и направленный в ту полусферу, из которой пришел падающий поток; поток, прошедший через слой ($\Phi_{\text{пр}}$) и вышедший в другую полусферу, и поглощенный поток ($\Phi_{\text{гл}}$), который превратится в веществе слоя в теплоту или другую форму энергии.

Из закона сохранения энергии следует, что сумма отраженного, прошедшего и поглощенного световых потоков равна потоку падающему, т.е. что $\Phi_{\text{отр}} + \Phi_{\text{пр}} + \Phi_{\text{гл}} = \Phi_{\text{пад}}$ или

$$\Phi_{\text{отр}}/\Phi_{\text{пад}} + \Phi_{\text{пр}}/\Phi_{\text{пад}} + \Phi_{\text{гл}}/\Phi_{\text{пад}} = 1. \quad (1.27)$$

1.4.2. Соотношения между коэффициентами отражения, пропускания и поглощения

Отношение светового потока, отраженного от слоя, к световому потоку, падающему на слой, называется *коэффициентом отражения* слоя и обозначается буквой ρ . Отношение светового потока, прошедшего через слой, к световому потоку, падающему на слой, называется *коэффициентом пропускания* слоя и обозначается буквой τ . Отношение светового потока, поглощенного в слое, к световому потоку, падающему на слой, называется *коэффициентом поглощения* слоя и обозначается буквой α .

Следовательно,

$$\rho + \tau + \alpha = 1. \quad (1.28)$$

Для окрашенных веществ эти коэффициенты зависят от спектрального состава падающего излучения. Для монохроматического излучения с длиной волны $\lambda \pm \Delta\lambda$ их следует обозначать $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$ и $\alpha(\lambda)$. Спектральную зависимость коэффициентов $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$ и $\alpha(\lambda)$ часто изображают графически, откладывая по оси абсцисс длину волны λ (рис. 1.23), а по оси ординат – один из коэффициентов. Если график должен охватить широкий интервал изменения длин волн, то удобно воспользоваться логарифмическим масштабом.

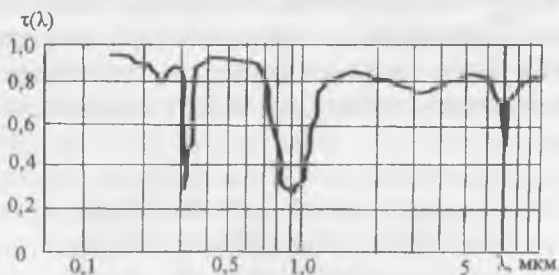


Рис. 1.23. Коэффициенты пропускания интерференционного фильтра.

Поток излучения любого спектрального состава всегда можно рассматривать как сумму большого числа монохроматических составляющих с мощностями $dP = P_\lambda d\lambda$, каждая из которых, попав на слой, претерпевает изменения, зависящие от его спектральных свойств. При этом отраженная, пропущенная и поглощенная мощности могут быть представлены произведениями $\rho(\lambda)dP$, $\tau(\lambda)dP$ и $\alpha(\lambda)dP$.

Световой поток падающего излучения можно записать так:

$$\Phi_{\text{пад}} = K \int V(\lambda) P_\lambda d\lambda.$$

Световые потоки – отраженный от слоя, прошедший через него и поглощенный в нем – будут изображаться тремя интегралами:

$\Phi_{\text{отр}} = K \int \rho(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda$; $\Phi_{\text{пр}} = K \int \tau(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda$; $\Phi_{\text{плг}} = K \int \alpha(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda$. В соответствии с этим визуальные коэффициенты отражения, пропускания и поглощения слоя следует написать в такой форме:

$$\begin{aligned} \rho_v &= \int \rho(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda / \int V(\lambda) P_\lambda d\lambda; \\ \tau_v &= \int \tau(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda / \int V(\lambda) P_\lambda d\lambda; \\ \alpha_v &= \int \alpha(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda / \int V(\lambda) P_\lambda d\lambda; \end{aligned} \quad (1.29)$$

где вес интегралы взяты в пределах видимого спектра.

Из предыдущего видно, что если речь идет не о световом потоке, а о потоке излучения, то расчеты энергетических коэффициентов отражения ρ_e , пропускания τ_e или поглощения α_e могут быть выполнены по формулам, подобным выражениям (1.29), в которые, однако, не войдут множители $V(\lambda)$. Таким образом,

$$\begin{aligned} \rho_e &= \int \rho(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda / \int P_\lambda d\lambda; \\ \tau_e &= \int \tau(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda / \int P_\lambda d\lambda; \\ \alpha_e &= \int \alpha(\lambda) V(\lambda) P_\lambda d\lambda / \int P_\lambda d\lambda; \end{aligned} \quad (1.30)$$

где интегралы распространены на весь спектр источника.

Согласно выражениям (1.29) и (1.30) коэффициенты отражения, пропускания и поглощения зависят не только от спектральных свойств материалов, определяемых функциями $\rho(\lambda)$, $\tau(\lambda)$ и $\alpha(\lambda)$, но также от вида функции P_λ , характеризующей спектральный состав падающего излучения. На это обстоятельство приходится обращать внимание потому, что, несмотря на всю его очевидность, о нем нередко забывают и, приводя числовые значения одного из названных коэффициентов, часто не указывают, к какому составу падающего излучения эти значения относятся.

Только для нейтрального материала, характеристики которого в пределах интересующего нас спектрального интервала не зависят от длины волны, коэффициенты отражения, пропускания и поглощения не зависят от состава падающего излучения и совпадают с их значениями для любого монохроматического излучения.

Рассматривая выражения (1.29), легко убедиться и в том, что влияние спектральной чувствительности приемника — в данном случае глаза человека — на коэффициенты ρ , τ и α совершенно подобно влиянию спектрального состава падающего излучения. Выше было уже отмечено, что изменение спектральной чувствительности приемника, наступающее, например, для глаза при переходе к сумеречному зрению, влечет за собой изменение коэффициентов ρ , τ и α ненейтральных материалов.

Энергетические коэффициенты отражения, пропускания и поглощения характеризуют свойства материалов для нейтрального приемника.

При рассмотрении оптических, фотометрических или светотехнических задач можно часто встретиться с указанием на отражение, преломление или рассеяние света, происходящее на поверхности предмета. Следует всегда иметь в виду, что каждая поверхность представляет собой только геометрическую границу, разделяющую объемы, занятые разными веществами (например, воздух и стекло, воздух и металл, воздух и дерево, вода и песок). Сама по себе геометрическая поверхность не содержит никакого вещества и не может оказать

какого-либо воздействия на падающее излучение. Любое оптическое явление определяется свойствами вещества, расположенного около границы раздела, т. е. около поверхности тела. Во многих случаях толщина слоя, влияющего на наблюдаемое явление, оказывается очень малой и измеряется единицами или даже долями длины волны падающего излучения. Малость этой толщины привела к обыкновению относить многие явления к поверхности, что удобно математически, хотя, строго говоря, неверно.

В соответствии с установившимся обычаем дальше можно встретиться с той же манерой выражения. Однако, следует всегда считать, что в слово «поверхность» надо вкладывать не геометрический, а физический смысл, при котором речь идет о поверхностном слое, толщина которого оказывается в разных случаях разной.

1.4.3. Гладкая поверхность.

Формулы Френеля. Угол Брюстера. Рассмотрим гладкую поверхность раздела между двумя прозрачными и изотропными диэлектриками (например, стекло, вода, воздух) с различными показателями преломления. Пусть (рис. 1.24) луч света AO падает на нее под углом φ к нормали ON из среды оптически менее плотной, т. е. с меньшим показателем преломления n_1 . Известно, что падающий луч делится гладкой поверхностью раздела на два: отраженный луч OC и преломленный луч OD , причем как OC , так и OD лежат в плоскости падения луча AO , т. е. в плоскости, проходящей через луч AO и нормаль к поверхности раздела.

Отраженный луч расположен симметрично падающему и составляет с нормалью ON такой же угол φ , как и падающий, а преломленный луч OD проходит ближе к нормали, образуя с ней угол ψ связанный с углом φ выражением

$$n_1 \sin \varphi = n_2 \sin \psi, \quad (1.31)$$

где n_2 - показатель преломления оптически более плотной среды ($n_2 > n_1$).

Если угол падения $\varphi = 0$, т.е. если луч падает по нормали к поверхности, то и $\psi = 0$. В этом случае луч проходит через границу раздела без изменения своего направления. Если угол φ мал, то как $\sin \varphi$, так и $\sin \psi$ можно считать равными самим углам и закон преломления можно написать в упрощенной форме: $n_1 \varphi = n_2 \psi$. Когда угол падения φ возрастает и стремится к своему пределу: $\varphi \rightarrow \pi/2$, то угол преломления ψ , также стремится к пределу, который обозначим буквой Ψ . Значение этого предельного угла можно легко найти из соотношений $n_1 = n_2 \sin \Psi$.

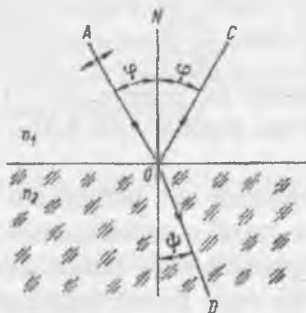


Рис. 1.24. Отражение и преломление света на гладкой поверхности раздела двух диэлектриков.

Отсюда видно, что преломленный луч не может составить с нормалью к поверхности угла, большего, чем Ψ , значение которого определяется показателями преломления соприкасающихся диэлектриков. Свет падает на них из воздуха, т.е. $n_1 = 1$, и, следовательно, $\Psi = \arcsin 1/n_2$ (табл. 1.1).

Коэффициент отражения ρ гладкой поверхности, разделяющей два диэлектрика, зависит от состояния поляризации падающего луча. Электрические колебания в падающем луче всегда можно разложить на две составляющие: параллельные плоскости падения и перпендикулярные к ней.

Таблица 1.2.

Оптические характеристики некоторых прозрачных материалов

Материал	n_2	Предельный угол Ψ	Угол Брюстера Φ_B	Коэффициент отражения ρ_E , %
Вода	1,33	48°45'	53°04'	3,8
Кварц плавленый	1,46	43°14'	55°35'	6,5
Стекло крон	1,52	41°08'	56°40'	8
Стекло флинт	1,75	34°51'	60°15'	13
Алмаз	2,42	24°24'	67°33'	25
Кремний	3,42	17°00'	73°42'	35,5
Германий	4,01	14°27'	75°59'	39

Примечание. Значения n_2 , равные 1,33, 1,46, 1,52, 1,75, 2,42 приведены для $\lambda = 589$ нм, равные 3,42, 4,01 – для $\lambda = 7000$ нм.

Таким образом, каждый луч можно считать состоящим из двух поляризованных лучей с колебаниями, происходящими в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Коэффициенты отражения каждого из этих лучей определяются формулами Френеля, причем для луча с колебаниями, перпендикулярными плоскости падения, коэффициент отражения

$$\rho_{\perp} = \sin^2(\varphi - \psi) / \sin^2(\varphi + \psi) \quad (1.32)$$

а для луча с колебаниями, происходящими в плоскости падения, коэффициент отражения:

$$\rho_{\parallel} = \text{tg}^2(\varphi - \psi) / \text{tg}^2(\varphi + \psi) \quad (1.33)$$

При нормальном падении луча ($\varphi = 0$) коэффициент отражения

$$\rho_0 = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1.34)$$

независимо от состояния его поляризации.

Из выражения (1.34) видно, что если первой средой является воздух ($n_1=1$), то для оптического стекла с показателем преломления $n_2 = 1,52$ (крон) $\rho_0=0,0425$, для оптического стекла с показателем преломления $n_2=1,75$ (тяжелый флинт) $\rho_0 = 0,07$, а для воды ($n_2=1,33$) — $\rho_0 = 0,02$.

Некоторые вещества имеют значительно больший показатель преломления. Например, алмаз прозрачный для видимого света, имеет $n_2 = 2,42$ и коэффициент отражения $\rho_0 = 0,172$, а кремний (Si) и германий (Ge), пропускающие инфракрасное излучение имеют для длины волны 7 мкм показатели преломления $n_2(\text{Si}) = 3,42$ и $n_2(\text{Ge}) = 4,006$. В соответствии с выражением (1.34) коэффициенты $\rho_0(\text{Si}) = 0,30$, а $\rho_0(\text{Ge}) = 0,36$.

Если, как это часто бывает, на гладкую поверхность диэлектрика под углом φ с нормалью падает естественный луч, в котором мощности обеих составляющих одинаковы, то для такого луча коэффициент отражения

$$\rho = \frac{1}{2} [\sin^2(\varphi - \psi)/\sin^2(\varphi + \psi) + \tan^2(\varphi - \psi)/\tan^2(\varphi + \psi)] \quad (1.35)$$

Из формул Френеля следует, что после отражения от гладкой поверхности диэлектрика естественный свет становится частично поляризованным.

Особый случай отражения от гладкой поверхности диэлектрика имеет место тогда, когда сумма углов $\varphi + \psi = 90^\circ$, т. е. когда отраженный луч перпендикулярен лучу преломленному. Обозначим этот угол падения через φ_B . Из формул Френеля видно, что в этом случае коэффициент отражения $\rho = 0$. Поэтому, каково бы ни было состояние поляризации падающего луча, луч отраженный будет полностью поляризован и колебания в нем будут совершаться в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Этим обстоятельством пользуются для того, чтобы создать поляризованный пучок широкого сечения, что трудно осуществить иными средствами. Легко видеть, что угол падения φ_B , который называется углом Брюстера (по имени ученого, открывшего описанное явление) зависит от показателей преломления. Из закона преломления следует, что

$$\operatorname{tg} \varphi_B = n_2/n_1. \quad (1.36)$$

Таким образом, если пучок естественного света падает, на гладкую поверхность диэлектрика под углом Брюстера, то отражается от неё только полностью поляризованная часть.

1.4.4. Поглощение света в веществе

Закон Бугера – Ламберта. Оптическая плотность. Через толщу однородного прозрачного (т. е. нерассеивающего), но поглощающего вещества распространяется пучок «монохроматического» излучения, длины волн которого приходятся на узкий спектральный интервал $\lambda \pm \Delta\lambda$ (рис 1.25).

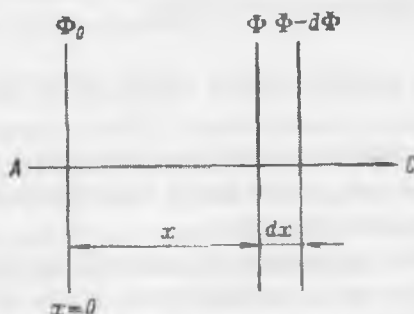


Рис. 1.25. К выводу закона Бугера.

Пучок заполняет малый телесный угол, имеющий направление AC , и потому может считаться пучком параллельных лучей.

Когда этот пучок проходит через плоскость, отстоящую на расстоянии x от начала отсчета, то переносимый им световой поток равен Φ . В плоскости с координатой $x+dx$, т. е. после прохождения слоя вещества толщиной dx , поток уменьшается на $d\Phi$. Естественно положить, что

$$-d\Phi = a'\Phi dx, \quad (1.37)$$

где a' — *натуральный показатель поглощения* рассматриваемого вещества для излучения с длиной волны λ , который следует считать постоянной величиной. Знак минус связан с тем, что при увеличении расстояния x (dx положительно), световой поток Φ уменьшается ($d\Phi$ отрицательно). Из написанного соотношения следует, что показатель поглощения имеет размерность длины⁻¹. Интегрируя выражение (1.37) и обозначая через Φ_0 световой поток пучка в плоскости с координатой $x = 0$, получаем $\Phi = \Phi_0 e^{-a'x}$, откуда видно, что коэффициент пропускания слоя толщиной x

$$\tau = \Phi/\Phi_0 = e^{-a'x}. \quad (1.38)$$

Из (1.38) видно, что *натуральный показатель поглощения*

$$a' = -\ln \tau / x \approx (1-\tau)/x, \quad (1.39)$$

где $\ln \tau$ — *натуральный логарифм коэффициента пропускания* τ .

Приближенное равенство справедливо в тех случаях, когда τ близко к единице и величиной $(1-\tau)^2/2$ можно пренебречь по сравнению с $1-\tau$.

Выражение (1.38) иллюстрирует закон Бугера (или закон Бугера — Ламберта).

Легко видеть, что прохождение параллельного пучка через поглощающую среду связано с поглощением излучения в объеме, причем объемная плотность поглощенного потока ($d\Phi/dv$) равна произведению $a'E_n$, где E_n — освещенность плоскости, перпендикулярной к параллельному пучку. Действительно, если считать, что площадь поперечного сечения пучка равна a , то объем, в котором поглощается поток $d\Phi$, равен σdx . Разделив выражение (1.37) на $dv = a dx$ и отбросив минус, получим

$$d\Phi/dv = a'\Phi/\sigma = a'E_n.$$

Если через точку A поглощающей среды проходит много параллельных пучков, то объемная плотность поглощаемого потока равна сумме объемных плотностей, определяемых каждым из пучков и, следовательно, $d\Phi/dv = a' \sum E_n = a' E_0$ где E_0 — пространственная освещенность в точке A .

В практических расчетах чаще пользуются не натуральным, а десятичным показателем поглощения a , выражая коэффициент пропускания следующим образом:

$$\tau = 10^{-0,434 a' x} = 10^{-ax}, \quad (1.40)$$

где десятичный показатель поглощения

$$a = 0,434 a' = -\lg \tau/x, \quad (1.41)$$

а $\lg \tau$ — десятичный логарифм τ .

Из выражения (1.40) видно, что если $x=1/a$, то коэффициент пропускания $\tau = 10^{-1}$, т. е. длина $1/a$ представляет собой такую толщину слоя, после прохождения которой пучок ослабляется в 10 раз. Точно так же из (1.39) следует, что длина $1/a'$ представляет такую толщину слоя, после прохождения которой пучок ослабляется в $e = 2,718 \dots$ раз.

Величину

$$D = \lg (1/\tau) = -\lg \tau = ax \quad (1.42)$$

принято называть *оптической плотностью* слоя поглощающего вещества. Из (1.41) видно, что десятичный показатель поглощения равен оптической плотности слоя, толщина которого равна единице.

Закон Бэра. Прозрачная пластинка. Оптической плотностью пользуются очень широко и часто в расчетах предпочитают ее коэффициенту пропускания или поглощения. Это происходит по двум причинам. Первая (она имеет существенное значение для химиков) состоит в том, что во многих случаях оптическая плотность раствора пропорциональна количеству растворенного вещества. Часто можно считать, что

растворитель практически не поглощает проходящего излучения. Тогда справедлив закон Бэра (1852 г.), согласно которому показатель поглощения a раствора пропорционален его концентрации C . В таком случае можно написать, что $a = kC$, где k — *удельный показатель поглощения* растворенного вещества, рассчитанный на единичную концентрацию. При этом

$$D = ax = kCx \quad (1.43)$$

т. е. оптическая плотность раствора пропорциональна его концентрации.

Другая причина, которая заставляет отдавать предпочтение оптической плотности, состоит в том, что, как видно из выражения (1.43), она пропорциональна толщине x поглощающего слоя, в то время как коэффициент пропускания слоя является показательной функцией его толщины. Поэтому рассчитать оптическую плотность слоя во многих случаях гораздо проще.

Следует заметить, что строгое соблюдение закона Бэра должно иметь место только для монохроматического излучения.

1.4.5. Светорассеивающая поверхность

Закон Ламберта. Коэффициент яркости. Многие предметы из числа тех, с которыми нам постоянно приходится иметь дело (например, бумага, побеленная стенка или потолок, кусок мела, деревянная доска, песок, камень) рассеивают падающий на них свет таким образом, что их яркости в разных направлениях оказываются близкими друг к другу. Более двухсот лет тому назад (1760 г.) немецкий ученый Ламберт формулировал закон, согласно которому *яркости светорассеивающей поверхности во всех направлениях одинаковы*.

Благодаря своей простоте и удобству математического использования этот закон очень быстро вошел во всеобщее употребление. Во многих случаях им пользуются и сейчас, хотя еще во времена Ламберта было известно, что этот закон верен

только приближенно. В настоящее время установлено, что среди окружающих нас предметов нет ни одного, который строго подчинялся бы закону Ламберта. Несмотря на это, представление о такого рода идеальном предмете (или о такой поверхности) играет существенную роль в фотометрии. Рассмотрим его свойства.

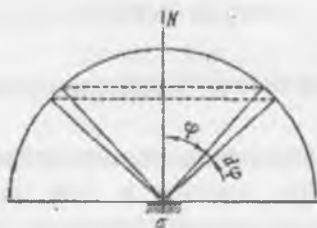


Рис.1.26. К расчету светового потока, излучаемого поверхностью с постоянной яркостью.

Пусть σ (рис. 1.26) обозначает площадь малой площадки, яркость L которой одинакова во всех направлениях. Подсчитаем световой поток Φ , излучаемый площадкой σ . Ее сила света в направлении, составляющем угол φ с нормалью, $J_\varphi = L\sigma \cos \varphi$. Выделим телесный угол $d\omega$, заключенный между двумя круговыми конусами, образованными вращением около нормали N двух прямых, составляющих с нормалью углы φ и $\varphi + d\varphi$.

Легко видеть, что $d\omega = 2\pi \sin \varphi d\varphi$. Так как сила света J_φ внутри этого телесного угла постоянна, то световой поток, который площадка посылает в него,

$$d\Phi = J_\varphi d\omega = 2\pi L\sigma \sin \varphi \cos \varphi d\varphi. \quad (1.44)$$

Для того чтобы определить световой поток Φ , излучаемый площадкой σ в пределах всей полусферы, выражение (1.44) надо проинтегрировать по φ в пределах от 0 до $\pi/2$. Выполнив это интегрирование, найдем, что

$$\Phi = \pi L \sigma . \quad (1.45)$$

Светимость площадки

$$M = \Phi / \sigma = \pi L . \quad (1.46)$$

Таковы соотношения для поверхности, удовлетворяющей закону Ламберта. Из последнего выражения видно, что яркости $L=1$ кд·м⁻² соответствует светимость $M = 3,14$ лм·м⁻², т. е. что для идеально рассеивающей поверхности число единиц светимости в π раз больше числа единиц яркости.

Светотехническая практика раньше пользовалась такими единицами яркости, как апостильб (1 асб = 0,3183 кд·м⁻²) и ламберт (1 лб = $3,183 \cdot 10^3$ кд·м⁻²).

Как уже отмечалось, ни одно из существующих тел не рассеивает свет в строгом соответствии с законом Ламберта. Ни одно из них не отражает также всего падающего на него светового потока. Между тем в фотометрии, светотехнике и смежных дисциплинах широко пользуются представлением об *идеальном рассеивателе*, считая, что это поверхность такого воображаемого тела, которое удовлетворяет обоим требованиям, т. е. отражает 100 % падающего на него потока и рассеивает его так, что его яркость во всех направлениях оказывается одинаковой. При этом считается, что идеальный рассеиватель обладает этими свойствами независимо от угла, под которым на него падает излучение.

Если на поверхности идеального рассеивателя создана освещенность E (в люксах), то его светимость (в люменах на квадратный метр) $M = E$, а яркость (в канделах на квадратный метр), согласно выражению (1.46),

$$L = E / \pi . \quad (1.47)$$

Значение идеального рассеивателя состоит в том, что с его предельными свойствами удобно сравнивать свойства всех реальных материалов. В частности, коэффициент отражения тоже можно рассматривать как отношение светового потока,

отраженного от данной поверхности, к световому потоку, отраженному от поверхности идеального рассеивателя, находящегося в тех же условиях освещения.

Поверхность каждого диффузно рассеивающего тела обнаруживает более или менее значительные отступления от свойств идеального рассеивателя, т. е. ее яркости в разных направлениях оказываются различными. Для того чтобы численно характеризовать изменения яркости поверхности в разных направлениях, пользуются представлением о *коэффициенте яркости*. Под коэффициентом яркости светорассеивающей поверхности понимается отношение яркости этой поверхности в некотором направлении к яркости идеального рассеивателя, находящегося в тех же условиях освещения. Коэффициент яркости принято обозначать буквой β .

Понятно, что коэффициент отражения не может быть больше единицы в силу закона сохранения энергии. Этого нельзя утверждать относительно коэффициента яркости, который в пределах ограниченного телесного угла может быть сколь угодно велик без нарушения каких-либо закономерностей. Вместе с тем увеличение светового потока, отраженного в каком-то направлении, связанное с увеличением коэффициента яркости, должно компенсироваться его уменьшением в других направлениях.

1.4.6. Рассеяние света в мутной среде

Ослабление светового луча. Свечение малого объема мутной среды.

Рассеяние света, вызванное присутствием в объеме вещества тех или иных оптических неоднородностей, наблюдается при распространении света через любую среду. Рассеяние света может быть очень слабым (например, в чистом воздухе) или очень сильным (например, в обыкновенном молоке); но нельзя назвать такое вещество, которое совсем не рассеивало бы проходящего через него света.

Представим себе, что пучок монохроматического и естественного (т. е. неполяризованного) света, заключенный внутри

малого телесного угла, распространяется по направлению AC (рис. 1.25) в рассеивающей, но непоглощающей среде. Рассеяние света ведет к уменьшению мощности пучка, и если на расстоянии x от начала отсчета мощность пучка равна Φ , то на расстоянии $x+dx$ она окажется равной $\Phi - d\Phi$, причем

$$-d\Phi = r'\Phi dx, \quad (1.48)$$

где r' — постоянная величина, характеризующая светорассеивающую способность среды, которая называется *натуральным показателем рассеяния света* (или *натуральным показателем интегрального рассеяния света*, имея в виду то, что величина r' связана с рассеянием света во всех направлениях и имеет размерность длины⁻¹. Интегрируя уравнение (1.48) в предположении, что r' не зависит от Φ , и считая, что при $x=0$ мощность пучка равна Φ_0 , получим

$$\Phi = \Phi_0 e^{-r'x} = \Phi_0 \cdot 10^{-\gamma x}, \quad (1.49)$$

где $\gamma = 0,434r'$ является *десятичным показателем рассеяния света* (или *десятичным показателем интегрального рассеяния света*).

Выражение (1.49) по форме вполне совпадает с выражением (1.38), которое определяет уменьшение мощности светового пучка, распространяющегося в поглощающей, но не рассеивающей среде. Различие состоит только в том, что вместо показателя поглощения в выражение (1.38) входит показатель рассеяния. Подобно показателю поглощения показатель рассеяния во многих случаях зависит от длины волны проходящего излучения.

Так же как в случае поглощения света, можно отметить, что отрезки $x' = 1/r'$ или $x = 1/\gamma$ представляют собой те расстояния, на протяжении которых пучок света ослабляется из-за рассеяния в $e = 2,718...$ раз или в 10 раз.

Если среда, через которую проходит пучок, не только рассеивает, но и поглощает свет, то уменьшение мощности пучка происходит быстрее и может быть выражено формулой:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-(a' + r')x} = \Phi_0 e^{-\mu'x} = \Phi_0 10^{-\mu x}, \quad (1.50)$$

где $\mu' = a' + r'$ называется натуральным, а $\mu = 0,434\mu'$ – десятичным *показателем ослабления*.

Свет, рассеянный веществом, расходится во все стороны и делает мутную среду светящейся. В общем случае каждый элементарный объем светорассеивающего вещества находится в сложном поле излучения, которое может состоять, во-первых, из лучей, идущих непосредственно от источников (одного или нескольких), пронизывающих пространство, заполненное мутной средой, и, во-вторых, из лучей, идущих от всех элементов объема вещества, рассеивающих свет, доходящий до них с разных направлений.

Контрольные вопросы

1. Краткий исторический обзор развития фотометрии.
2. Краткий исторический обзор развития цветоведения.
3. Основные фотометрические величины и единицы.
4. Основные понятия и термины в фотометрии и цветоведения.
5. Применение методов фотометрии.
6. Световая энергия и экспозиция.
7. Закон обратных квадратов.
8. Просветлённая оптика.
9. Принципиальные схемы фотометров прямого отсчета, работающих по принципу сравнения.
10. Виды фотометрических измерений.
11. Фотометрический шар, принцип использования фотометрического шара для измерений светового потока.
12. Изучение отражения, поглощения, пропускания света различными материалами.
13. Соотношения между коэффициентами отражения, пропускания и поглощения.
14. Гладкая поверхность.
15. Поглощение света в веществе.
16. Светорассеивающая поверхность.
17. Рассеяние света в мутной среде.

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОМЕТРИИ В ПРОЦЕССАХ ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЪЕМКИ

2.1. Основные понятия и термины в экспонометрии

2.1.1. Экспозиция

Термин «экспозиция» является в технике фотокиносъемок многозначным. Это часто приводит к смещениям различных понятий в экспонометрии, к неправильным пониманиям экспонометрических методик и неправильным применениям экспонометрической техники. Поэтому необходимо разграничение понятий экспозиции.

Различают экспозицию сенситометрическую, осуществляемую в сенситометре в целях испытания фотослоев и режимов обработки их, и экспозицию съемочную, осуществляемую операторскими съемочными средствами в процессе съемки фильма и также в целях испытания пленок. В съемочных экспозициях различают экспозицию МЕСТНУЮ для отдельной точки кадра (точечную) и ОБЩУЮ, для кадра в целом (общекадровую).

Одни экспонометрические методики предназначены для определения только общекадровых экспозиций, другие – для определения местных. Это относится и к замерам света, из которых не каждый замер может быть использован для любой из этих целей.

Различны и средства регулировки съемочных экспозиций. Общая экспозиция регулируется диафрагмой объектива, выдержкой, общей освещенностью объекта и серым съемочным светофильтром на весь кадр. Местные экспозиции регулируются только местными освещенностями объекта, цветными съемочными светофильтрами и серыми светофильтрами, частично каширующими отдельные участки кадра.

Термин освещенность, относящийся к интенсивности освещения объекта съемки не должен употребляться в экспонометрии без поясняющих прилагательных слов, иначе он становится беспредметным.

2.1.2. Освещенность

Характерная особенность величин освещенности заключается в том, что они всегда относятся к плоскостям, определенно ориентированным в пространстве, и зависят от угла падения света на освещаемую площадку. Таким образом, если поверхность объемного тела образована несколькими различно ориентированными плоскостями, то она находится обычно под действием нескольких различных освещенностей. Это важно помнить при оценках освещения для целей экспонетрии.

Различают освещенности: горизонтальную, вертикальную, максимальную, минимальную, фронтальную, ключевую и т.п. Выражение «освещенность объекта равна 1000 люкс», кажущееся конкретным, лишено экспонетрического смысла, если неизвестно о какой освещенности говорится или что представляет собой объект.

2.1.3. Ключевой свет

Ключевым называется основной свет, падающий на сюжетно-важную часть объекта съемки (например, лицо актера) от главного источника освещения и являющийся исходным при построении тональной композиции кадра. Ключевой свет, создающий на объекте ключевую освещенность (а также ключевую яркость сюжетно-важной детали), служит основанием для экспонетрического расчета освещения и визуального светового баланса. Величина ключевого света поддается точному экспонетрическому расчету, ввиду возможности связать ее с светочувствительностью пленки и параметрами, характеризующими нормальную тонопередачу объекта.

Метод ключевого света широко используется при художественных профессиональных киносъемках. При съемках монтажных кадров кинооператоры придерживаются одинаковых величин ключевого света, что облегчает баланс освещения, создает в монтаже кадров необходимое световое

единство киноизображений и ведет к лучшим копировальным качествам кинопозитива.

2.1.4. Контраст освещения и контраст светлот

Контраст освещения – характеристика объемного освещения объекта съемки, выражаемая отношением максимальной освещенности ($E_{\text{макс}}$) к минимальной ($E_{\text{мин}}$).

За $E_{\text{макс}}$, обычно принимают ключевую освещенность, а за $E_{\text{мин}}$ – освещенность в сюжетно-важной теневой части объекта.

Ориентировочно, контраст освещения порядка 1:1,5 – 1:2 соответствует нормальному освещению, 1:4 – эффекту вечернего освещения, 1:8 – 1:10 сильному контрасту, встречающемуся на натуре при солнечном освещении в безоблачную погоду.

Контраст светлот – характеристика отражательной способности объекта съемки, выражаемая отношением максимальной его светлоты ($\rho_{\text{макс.}}$) к минимальной ($\rho_{\text{мин.}}$), то есть отношением крайних коэффициентов отражения его фактур.

Предельная возможная величина контраста светлот павильонного объекта съемки равна, примерно, 80 – 90, если за максимальную светлоту окраски принять светлоту свежесвыбеленной поверхности (80%), а за минимальную – светлоту черного бархата (1%). В логарифмическом выражении эта величина выражается числом 1,9.

2.1.5. Интервал яркости

Интервал яркости – отношение максимальной яркости к минимальной, наблюдаемое в объекте съемки. Различают интервалы яркости: истинный, визуальный, фотометрический и фотографический.

Истинный интервал – физический, объективный, энергетический, независящий от наблюдения его каким-либо способом. Это интервал яркости существующий относительно условного гипотетического приемника света с равномерной чувствительностью по всему спектру.

Визуальный интервал – зависящий от свойств глаза, спектрального состава яркостей и способа их сравнения.

Фотометрический интервал – зависящий от свойств применяемого фотометра и также от свойств яркостей и способов их измерения.

Фотографический интервал, зависящий от спектральных свойств съемочной оптики и пленки и спектрального состава фотографируемых яркостей.

Численно интервал яркости выражают логарифмом отношения максимальной яркости к минимальной, что удобнее для расчетов экспозиций по характеристической кривой пленки, так как ось абсцисс этой кривой размечена в логарифмах экспозиции.

В таблице 2.1 приведено сравнение двух способов выражения интервалов яркости. (B_2 – яркость высшая, B_1 – низшая).

Таблица 2.1.

$B_2 : B_1$	10	16	20	25	32	40	50	64	80	100	128	160	200	256	320
$\lg B_2/B_1$	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2

2.2. Операторские оценки условий освещения

2.2.1. Количественное управление световым потоком

Правила правильного освещения: применение закона обратных квадратов. В технических терминах закон обратных квадратов определен как «закон, утверждающий, что значение некоторой физической величины в данной точке пространства обратно пропорционально квадрату расстояния от источника поля, которое характеризует эта физическая величина».

Законы обратных квадратов относятся ко многим, многим вещам в мире. Однако, здесь будет рассмотрены лишь одну из этих вещей: свет.

Объяснение концепции. Непосредственно в фотографии этот закон относится к освещению. Освещение может быть любого вида, но самым главным вариантом является освещение

со стороны камеры. Закон обратных квадратов учит нас, как легче работать с расстоянием и почему расстояние между Вашим источником света и Вашим предметом настолько важно.



Согласно закону, мощность света будет обратно пропорционально квадрату расстояния. Так, если мы берем расстояние 2, возводим в квадрат и получаем 4, инверсия света будет составлять $1/4$ оригинальной мощности света – не половину. При перемещении нашего предмета на 3 метра от источника света ($3 \cdot 3 = 9$, таким образом $1/9$) мы получим $1/9$ -ю часть первоначальной мощности.

Здесь можно увидеть, насколько сильно падает мощность света на расстоянии от 1 до 10 метров.



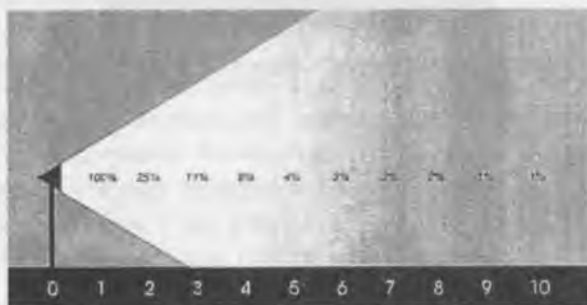
Закон обратных квадратов объясняет драматическое снижение мощности света по расстоянию. Мы можем использовать эту информацию, чтобы лучше понять, как наши осветительные

приборы освещают предмет на том, или ином расстоянии, и как лучше ими управлять.

Использование теории в работе. Когда свет падает в одном направлении, тогда первоначальное снижение в мощности света быстро растет, однако в дальнейшем эта скорость уменьшается.

С квадратичным законом числа растут все быстрее и быстрее, а с законом обратных квадратов числа наоборот, уменьшаются все медленней и медленней.

Если перевести интенсивность света в проценты, то с изменением от 1 до 10 метров это выглядеть так:



Понижение света на 75% от 1 до 2 метров, и понижение всего на 5% от 4 до 10 метров.

Экспозиция. Совсем близко к источнику света находится большая мощность, а мощность вдали от источника очень мала. Основываясь на этом, чтобы получить правильную экспозицию (мы используем последовательную скорость затвора), если предмет находится очень близко к источнику света, мы должны установить нашу камеру на F16, чтобы устранить лишний свет.

С другой стороны, если предмет находится далеко от источника света, то мы устанавливаем диафрагму на F4, чтобы получить больше света. Обе фотографии должны быть идентичными, потому что мы говорим про фиксированную камеру с одинаковым источником света.



Полагаясь на это можно составить оценку того, как правильно должны меняться значения F для разных дистанций. И не надо забывать, что свет понижается сначала очень быстро, а затем медленно. Так и с камерой, сначала затвор открываем не сильно, а потом все сильнее.



Освещение одного объекта. Давайте изменим значение нашей диафрагмы до вершины нашей диаграммы, чтобы было удобно ориентироваться. Если будет сниматься неодушевленный предмет, то достаточно просто правильно расположить его, и начать снимать.

Но, если снимается каких-то персон (особенно, если они стоят), то можете заметить их тенденцию к движению.



Если поставить модель очень близко к источнику света и она (или он) сделала хотя бы полшага в какую-то другую сторону, то все настройки тут же собьются и придется все настраивать заново.



Хотя, если модель стоит далеко от света, то она вполне может позволить себе сделать несколько шагов и не придется менять настройки.

Освещение группы. Предыдущее правило хорошо работает и при съемке группы людей. Если все модели стоят очень близко к свету, то может оказаться, что одна будет находиться в районе раскрытия диафрагмы F22, другая в районе F11, а

третья будет стоять где-то между ними. И это не совсем хорошо.



Но если все модели будут стоять достаточно далеко от источника света, то они будут освещены равномерно.



Освещение фона. Конечно, иногда нужно, чтобы один элемент фотографии был освещен ярче, а другой темнее. Например, если кинотелеоператор хочет поместить модель близко к источнику света, а позади нее расположить фон. Если предположить что модель расположена правильно, нужно знать, в какой зоне лучше всего поставить фон



Если кинотелеоператор хочет иметь и яркий объект и яркий фон, то нужно чтобы они оба располагались подальше от света, но близко друг к другу.

2.2.2. Виды оценок экспонетрических условий съемки

Применяемые оператором оценки условий съемки делятся на количественные, выполняемые инструментальным методом, и качественные, производимые визуально. В свою очередь они делятся на абсолютные и сравнительные.

При количественных абсолютных оценках указывается, на основании измерений, численное значение оцениваемой величины в общепринятых абсолютных единицах. Например, освещенность в люксах, яркость в апостильбах и т. п.

При количественных сравнительных оценках численно выражаются лишь отношения сравниваемых величин. Сами же величины при этом могут иметь какое угодно абсолютное значение. К таким оценкам относятся оценки интервала яркости объекта контраста освещения, контраста светлот объекта и т. п.

Если сравниваемые величины выражаются логарифмами, то указывается разность логарифмов, но ни в коем случае не отношение их. Например, интервал оптических плотностей негатива, образуемый крайними величинами 1,5 и 0,3 будет равен 1,2, но не 5.

При качественных абсолютных оценках дается характеристика наблюдаемых величин, или качеств чего-либо, по

производимому ими зрительному ощущению или впечатлению. Например, освещенность может характеризоваться визуально как высокая или низкая, достаточная или недостаточная; окраска объекта — как светлая или темная; цветам присваивается название определенных цветовых тонов и т. п.

Качественные сравнительные оценки даются как результат визуального сравнения наблюдаемых величин или качеств. Например, «объект светлее фона». При этом не указывается является ли объект светлым или темным. Оценки этого рода имеют большое значение и широкое применение при визуальном балансе освещения при отработках тональных композиций кадра и цветовых композиций.

При определенных условиях они превращаются в количественные абсолютные оценки весьма высокой точности, например при сравнениях с эталонами яркости, освещенности, светлоты, цветности и т.п. При этом используется очень высокая чувствительность глаза в установках равенства двух величин при их непосредственном сравнении.

В отдельных случаях для качественных оценок может быть применен и инструментальный метод, если заранее известно каким количественным соотношениям света отвечает определенное качество визуального восприятия контраста. Так, например, контраст освещения, установленный первоначально при визуальном балансе света в соответствии с изобразительным замыслом, может в дальнейшем контролироваться более надежно инструментальным методом.

И наоборот, некоторые количественные оценки могут быть достаточно точно сделаны и визуальным путем, если к тому имеются какие-либо достаточно надежные основания, в виде большой натренированности глаза или каких-либо косвенных вспомогательных данных. Например, вид пасмурного неба позволяет без всяких измерений достаточно точно заключить о цветовой температуре освещения порядка 6.500°K ; привычное нормальное объемное освещение портрета позволяет оценить установленный контраст освещения как близкий к $1 : 2$ и т. д.

2.2.3. Яркометры и измерения яркости

В качестве яркометров применяются обычные экспонометры или специально сконструированные приборы.

Отличительная особенность конструкции яркометра – наличие перед фотоэлементом какого-либо приспособления, ограничивающего угол, в пределах которого свет от измеряемого объекта поступает на фотоэлемент (угол охвата). Для ограничения угла охвата применяются различной конструкции тубусы, решетки, линзы и т. п.

Яркометры, имеющие светоприемное окно в форме прямоугольника, характеризуются двумя углами охвата – вертикальным и горизонтальным. Любительские яркометры имеют угол охвата от 60 до 120°, профессиональные – 30 – 45°. Яркометры специального назначения могут иметь угол охвата порядка 2 – 3°, как например советский цветояркометр «ЦЯ-1». Такие яркометры снабжаются обычно прицельным визиром, позволяющим видеть точные границы измеряемых небольших участков объекта.

Широко распространенный советский экспонометр «Ленинград 1» имеет вертикальный угол охвата 60° и горизонтальный – 120°.

Чувствительность яркометра тесно связана с углом охвата. Она падает пропорционально квадрату уменьшения угла. Так, например, путем насадочного тубуса горизонтальный угол охвата экспонометра «Ленинград-1» нетрудно довести до 30°, но при этом чувствительность прибора упадет, примерно в 16 раз.

Знать угол охвата яркометра необходимо при измерениях яркости небольших площадок объекта, так как от него зависит допустимое максимальное расстояние яркометра от измеряемой площадки. Примерные максимальные расстояния яркометров от измеряемой площадки при различных углах охвата показаны на рис. 2.1. Рисунок показывает, что при угле 45° допустимое максимальное удаление яркометра от измеряемой площадки, равно, примерно, ее ширине. Угол 60° требует расстояния не более 3/4 ширины. Угол 90° – не более половины ширины площадки, а угол 120° – четверти ширины.

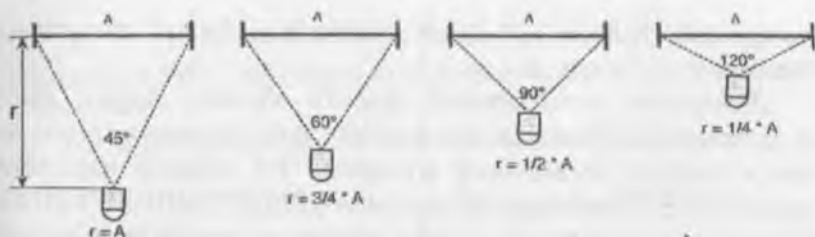


Рис. 2.1. Допустимые максимальные расстояния яркометров от измеряемой детали при разных углах охвата.

При превышениях указанных расстояний экспонометра от объекта измерения в угол охвата попадают посторонние детали объекта и его фона, что может сильно снизить точность замера местной яркости измеряемой детали.

При измерениях яркости помимо учета угла охвата яркометра приходится учитывать и фактуру поверхности объекта. Так, например, измерения яркости глянцевых поверхностей должны вестись всегда по направлению оптической оси объектива съемочного аппарата, потому что при иных позициях яркометра измеренная яркость может сильно отличаться от фотографируемой. Яркость матовых поверхностей может измеряться с любых направлений.

Измерения яркости матовых поверхностей с каким-либо постоянным коэффициентом отражения (например, лицо человека, ладонь руки, белый бланк и т. п.) могут служить для определений освещенности, так как яркость таких поверхностей будет всегда пропорциональна определенным величинам освещенности. Шкала яркометра может быть градуирована в этом случае в люксах. Следовательно, если определения экспозиции ведутся по замерам яркости лица актера, то это означает, что они ведутся, фактически, по замерам освещенности.

В универсальных экспонометрах в роли такого постоянного эталона служит молочное стекло, устанавливаемое перед фотоэлементом. Яркость его (пропорциональная освещенности) замеряется на просвет, что значительно удобнее

измерений яркости выносных эталонов – белых или серых бланков.

Измерения интегральной яркости объекта съемки дают представление об общем количестве света отражаемого объектом в сторону съемочного аппарата. Эту яркость называют также ОБЩЕЙ яркостью объекта или СРЕДНЕВЗВЕШЕННОЙ. Величина интегральной яркости зависит не только от яркостей отдельных деталей объекта и его фона, но и от величины их площадей, попадающих при измерении в угол охвата яркомера. Так, например, светлый объект, расположенный на большой площади темного фона, может иметь ту же интегральную яркость что и темный, и наоборот, темный объект, при наличии в нем незначительной по площади детали очень высокой яркости может оказаться равным по интегральной яркости светлому, если интегральные яркости измеряются без учета характера объекта съемки и его композиции в кадре.

2.2.4. Определения интервала яркости объекта

Для определения интервала яркости объекта могут служить два способа – прямой и косвенный. Прямой способ состоит в непосредственном измерении яркомером максимальной и минимальной яркости. Но если эти яркости по каким-либо причинам недоступны для измерения, их интервал во многих случаях может быть оценен достаточно точно косвенным способом. Косвенный способ состоит из оценки интервала светлот объекта (контраста светлот) и действующего в объекте интервала освещенностей (контраста освещения).

Возможность второго способа основана на следующей зависимости интервала яркости от контраста освещения и контраста светлот.

Пусть максимальная яркость равна B_2 , а минимальная – B_1 . У объекта светящегося за счет отражений света эти яркости могут быть представлены так:

$$B_2 = E_2 \rho_2 \text{ и } B_1 = E_1 \rho_1, \quad (2.1)$$

где E_2 и E_1 – максимальная и минимальная освещенности объекта, ρ_2 и ρ_1 – максимальный и минимальный коэффициенты отражения.

Тогда интервал яркости объекта можно представить:

$$\begin{aligned} B_2 / B_1 &= (E_2 \cdot \rho_2) / (E_1 \cdot \rho_1) \text{ или} \\ B_2 / B_1 &= (E_2 / E_1 \rho_2) \cdot (\rho_2 / \rho_1) \end{aligned} \quad (2.2)$$

то есть как произведение двух дробей, из которых первая означает контраст освещения, а вторая – контраст светлот объекта.

Следовательно, интервал яркости объекта светящегося за счет отражений света его поверхности можно считать равным (в пределе) произведению контраста освещения на контраст светлот. Эта предельная его величина относится к тому случаю, когда максимальная освещенность приходится на максимальный коэффициент отражения, а минимальная – на минимальный коэффициент. Но этого условия в объекте киносъемки может и не быть, или быть только в какой-то момент такого совпадения освещенностей с коэффициентами отражения. Может быть в принципе, и случай обратного сочетания, когда максимальная освещенность будет приходиться на минимальный коэффициент отражения, а минимальная – на максимальный. Тогда, несмотря на большие величины контраста освещения и контраста светлот, интервал яркости окажется незначительным и даже может свестись к единице.

Из формулы (2.2) следует важный практический вывод:

1) интервал яркости равномерно освещенного объекта равен контрасту его светлот (напр. случай репродуцирования рисованных кадров);

2) интервал яркости однотоннокрашенного объекта равен контрасту его освещения (напр. случай съемки гипсовых моделей).

Оценка интервала яркости косвенным способом очень упрощается, если оператор хорошо ориентируется в светлотах важнейших фактур и может судить о них не прибегая к

измерениям. В этом отношении большую помощь может оказать контрольная серая шкала, светлота полей которой известна. Как было сказано предельная величина возможного контраста светлот в объекте равна, примерно, 80, если объект содержит одновременно такие фактуры, как черный бархат и чисто белые предметы. Наиболее употребительные контрасты освещения, при светотеневом освещении, колеблются, примерно, от 2 до 4. Контраст освещения на натуре летом в безоблачную погоду равен, примерно, 8-10.

2.2.5. Особенности измерений освещенности

При измерениях освещенности особенно важна, правильная позиция люксметра относительно объекта съемки и источников света, иначе измеренная освещенность может привести к неправильным установкам света или к неправильным определениям экспозиции.

Определение плоскости, в которую должно быть установлено молочное стекло люксметра, зависит от того, является ли объект съемки объемным или плоским.

Ключевая освещенность объемного объекта измеряется в плоскости перпендикулярной лучу от главного источника света. Люксметр устанавливается вблизи наиболее важной части объекта (например, лица актера) и направляется всегда молочным стеклом на главный источник света.

Это правило недействительно в отношении плоского объекта, расположенного неперпендикулярно лучу главного осветительного прибора. Для измерения освещенности плоского тела молочное стекло экспонометра надо располагать параллельно поверхности тела, независимо от расположения источников света.

Как велика может быть ошибка в измерении освещенности, если нарушать это правило?

Ошибка может быть большой, если экспонометр направлять всегда на главный источник света, не считаясь с положением плоскости объекта. Приведем некоторые численные примеры, говорящие о роли косинуса угла падения света.

Если поверхность освещена направленным светом под углом 60° (к перпендикуляру, опущенному на поверхность), а экспонометр повернут молочным стеклом на источник света, то он указывает освещенность примерно в два раза большую действительной. Следовательно, расчет экспозиции по такой освещенности будет приводить к двухкратной недодержке.

Если угол будет 45° , то экспонометр укажет освещенность в полтора раза большую.

2.2.6. Измерения контраста освещения

Контраст освещения определяется, сравнением максимальной освещенности объекта с минимальной. Измерение максимальной освещенности обычно затруднений не вызывает. Местоположение и направление люксметра определяется довольно просто, также как и при измерении ключевой освещенности. При измерении минимальной освещенности некоторые затруднения возникают при решении вопроса какую из низших освещенностей, существующих в объекте, принять за условную минимальную для определения контраста освещения.

Дело в том, что освещенность объемного тела, плавно понижаясь от максимального уровня, приходит к минимуму обычно в той части объекта которая уже скрывается из поля зрения оператора, стоящего у съемочной камеры. Это боковая поверхность объекта, нефотографируемая. Следовательно, люксметр должен находиться где-то в промежуточном месте в теневой части объекта. Можно считать целесообразным отсчитывать условную минимальную освещенность в плоскости расположенной под углом 45° к оптической оси объектива или под углом 90° к направлению светового пучка от главного источника света (рисующего). Эти примерные позиции показаны на рис. 2.2.

Иногда считают удобным за $E_{\text{мин}}$ принимать освещенность, создаваемую передним заполняющим светом во фронтальной плоскости вблизи сюжетно-важной детали, при ограждении молочного стекла люксметра от света главного источника.

Последний способ более прост в отношении уверенного отыскания позиций люксметра.

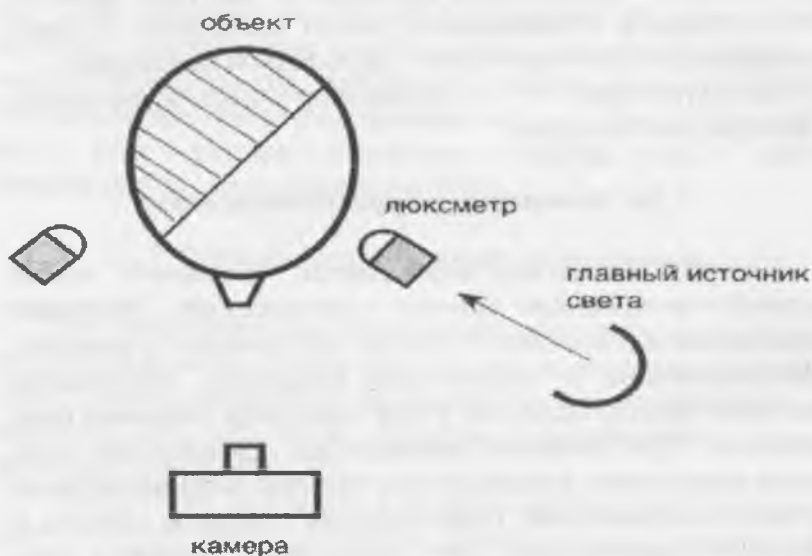


Рис. 2.2. Позиции люксметра при замере контраста освещения.

Выбор способа измерения контраста освещения не принципиален, так как главное его назначение состоит не в определении абсолютно точной величины контраста, а в поддержании его постоянства при съемке монтажных кадров. В этих измерениях вполне допустима та или иная систематическая ошибка. Но, выбрав для киносъемки один из способов, нужно придерживаться его до конца, так как способы неидентичны в оценках E минимум.

2.3. Расчеты и регулировки освещения и экспозиции

2.3.1. Экспонометрические формулы

Съемочная точечная экспозиция в ее аналитическом выражении представляется формулой:

$$H = (0,25 \cdot E \cdot t \cdot \tau \cdot v \cdot \cos 4\omega) / n^2 \cdot (1 + 1/m)^2 \text{ лк} \cdot \text{с} \quad (2.3)$$

где E – освещенность объекта съемки в экспонируемой точке (в люксах);

τ – коэффициент яркости поверхности объекта в данной точке;

t – выдержка (в секундах);

τ – коэффициент пропускания объектива, зависящий от его конструкции и просветления линз;

n – знаменатель относительного отверстия объектива (диафрагма);

ω – угол падения света на пленку в данной точке (между лучом и оптической осью);

v – показатель виньетирования оптического изображения оправой объектива (зависящий от ω и n);

$1/m$ – масштаб изображения.

В практической экспонометрии этой формулой обычно не пользуются, так как точный учет всех факторов для каждого случая съемки и отдельных точек объекта невозможен. Проще найти экспериментально при каких освещенностях или яркостях объекта и при каких факторах экспозиции съемочной камеры (выдержка, диафрагма), получается на данном фотоматериале интересующий нас фотографический эффект экспонирования.

Экспонометрическая формула для расчетов ОБЩЕЙ экспозиции, например, для определения освещенности объекта E_0 по заданным светочувствительности пленки S , выдержке t и диафрагме n , имеет более простой вид:

$$E_0 = k \cdot n^2 / S \cdot t, \quad (2.4)$$

где k — коэффициент пропорциональности, зависящий от системы численного выражения светочувствительности применительно к системе ГОСТ можно принять $k = 250$.

2.3.2. Принцип построения калькулятора экспонометра

Калькуляторы экспонометров рассчитываются обычно так, чтобы один и тот же ответ получался при измерении как освещенности объекта, так и его общей яркости (именуемой иногда интегральной или средневзвешенной). При этом расчет сделан на некоторый условный средний объект, наиболее часто встречающийся в съемочной практике. Точного описания такого объекта нет, но можно назвать некоторые условные его особенности.

Это объект, в котором есть и низкие и высокие местные яркости, но ни одна из них не занимает преобладающую площадь в кадре. Все яркости, в пределах не слишком высокого интервала, порядка 1:30 – 1:60, более или менее уравновешены по площади. В таком объекте нет самосветящихся предметов высокой яркости, например, ярко горящих источников света.

Объект светится, в основном, за счет отражательных свойств своих поверхностей. Средний коэффициент отражения такого объекта равен, примерно, 0,2 (светлота 20%). Такая светлота соответствует средне-серому цвету. Одинаковое численное выражение общей яркости среднего объекта и его освещенности достигнуто в экспонометре подбором плотности молочного стекла перед фотоэлементом. Стекло это пропускает, примерно, 20% света, то есть столько же сколько отражает средне-серая поверхность или средний объект съемки. Таким образом молочное стекло экспонометра выполняет двойную роль: превращает экспонометр в измеритель освещенности, обеспечивая ему угол охвата близкий к 180° (обязательный для измерителя освещенности) и способствует одинаковому численному выражению общей яркости и освещенности объекта.

Если по калькулятору экспонометра рассчитать общую экспозицию не по общей яркости объекта, а по яркости

произвольно выбранной его детали, то ошибка в расчете будет сделана во столько раз, во сколько раз коэффициент отражения выбранной детали отличается от 0,2.

В калькуляцию общей экспозиции входят четыре величины: общая яркость объекта или освещенность его (при условии одинакового численного выражения этих величин на шкале экспонометра), диафрагма объектива, выдержка и светочувствительность пленки. В рабочее состояние калькулятор приводится настройкой его на известную величину светочувствительности пленки. Далее его работа сводится к механическому решению уравнения с одним неизвестным по трем известным.

Так как калькулятор не рассчитан на определение по нему необходимых МЕСТНЫХ экспозиций, или местных яркостей объекта, то, следовательно, неправомерна и обратная операция — определение светочувствительности пленки по яркости произвольно выбранной детали объекта. Если на основе полученного удачного негатива высчитывать по калькулятору светочувствительность пленки, беря каждый раз яркости произвольно выбираемых деталей объекта, то для одной и той же пленки мы получим столько различных величин «практической» чувствительности сколько различных деталей объекта будет взято для измерения их яркости.

2.3.3. Определения общей экспозиции по местным яркостям объекта съемки

Если условия съемки таковы, что измерение общей яркости объекта почему либо исключается, то этот замер может быть равнозначно заменен только замером яркости средне-серой его детали (светлота 20%).

Между тем это условие часто нарушается и общая экспозиция рассчитывается по произвольно выбираемым местным яркостям объекта. Обосновывается это различными соображениями. В одних случаях предпочитают измерять низшие яркости объекта, обосновывая это желанием достичь хорошей проработки деталей в тенях, в других - предпочитают

измерять высшие яркости по аналогичным соображениям в отношении высших тонов, в третьих — придают значение какой либо сюжетно-важной детали, независимо от того относится она к низшим или высшим тонам объекта. Соответственно этому на практике укоренились такие выражения как: «экспонирую по теням», «по светам», «по сюжетно-важной детали» и т. п.

Такие методы определения общей экспозиции часто игнорируют принцип устройства калькулятора экспонометра и ведут к ошибкам в расчетах экспозиции. Неудачи в этих случаях обычно относят не к способу применения экспонометра, а к якобы неправильной величине светочувствительности пленки.

Рассмотрим этот вопрос ближе.

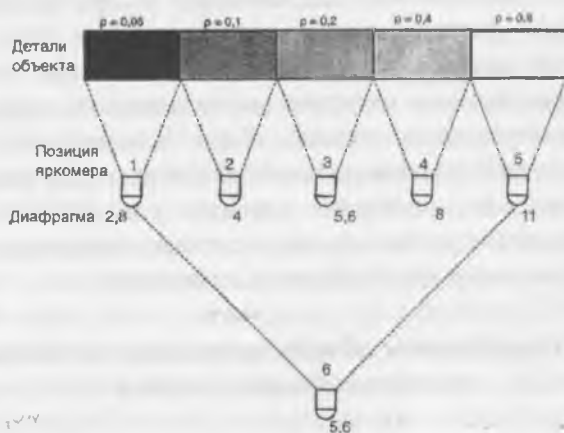


Рис. 2.3. Зависимость величины общей экспозиции от ее калькуляции по разным местным яркостям объекта.

На рис. 2.3 показаны шесть позиций яркомера при измерениях яркости объекта. Объект показан условно в виде пяти ступеней яркости, возрастающих последовательно в два раза. Все детали объекта освещены одинаково и различия их яркости создаются за счет различных светлот (коэффициентов отражения).

При пяти позициях измеряются пять различных местных яркостей и соответственно им определены пять различных диафрагм объектива от 2,8 до 11. В позиции 3 яркомер измеряет средне-серую деталь и расчет дает правильную диафрагму 5,6, такую же как и при замере общей яркости объекта с позиции 6.

Рассчитывая общую экспозицию не по общей яркости объекта, как это предусмотрено калькулятором, а по яркости произвольно выбранной его детали, мы, фактически, принимаем эту деталь как бы за средне-серую ($p = 0,2$). Иначе говоря, ставим эту деталь в шкале тонов будущего позитива, на положение средне-серого цвета. При этом все остальные детали объекта автоматически смещаются в тональном ряду в одну сторону, а именно, при замерах яркости светокрашенных деталей шкала тонов сдвигается к черному (негативы получают признаки недодержки), а при замерах темнокрашенных — к белому (негативы выглядят передержанными), (рис. 2.4).

Чем светлее измеряемая деталь, тем более недодержанным получается негатив, и, наоборот, чем темнее, тем более передержанным.

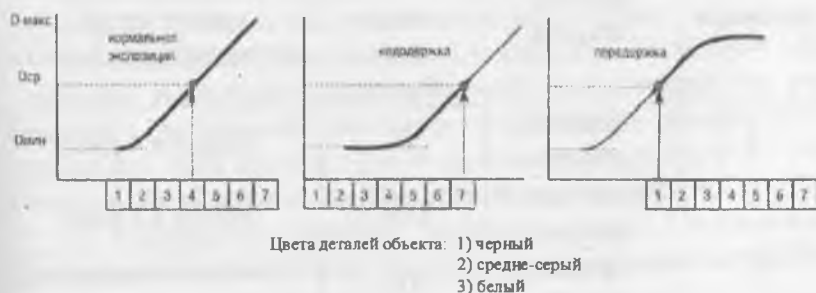


Рис. 2.4. Перемещения местных экспозиций по характеристической кривой негативной пленки при калькуляции общей экспозиции по замерам яркости белой, средне-серой и черной детали объекта съемки.

Эти ошибки экспонирования, если они не слишком велики, компенсируются обычно печатью, установкой большего или

меньшего номера копировального света, но качество фотографического изображения при этом может пострадать. в изображении может не оказаться хороших черных тонов, ухудшится цветопередача, появится зернистость и т. п.

В таблице 2.2 приведены примерные колебания «практической» светочувствительности пленки в зависимости от способа применения яркомера для расчета по его калькулятору общей экспозиции (в сравнении с паспортными данными).

Для того, чтобы при всех замерах местной яркости объекта, показанных на рис.2.3 получить нормальный негатив одной и той же плотности пришлось бы брать для настройки калькулятора пять различных чисел светочувствительности пленки. Чувствительность, указанная в паспорте оказалась бы наиболее правильной лишь при замере местной яркости с позиции 3 и при замере общей яркости с позиции 6.

Таблица 2.2.

Позиция яркомера	Измеряемая яркость объекта	% отражения света измеря- емого объекта	Высчитанная по калькулятору практическая светочувствительность
1	Черной детали	5%	Выше в 4 раза
2	Темно-серой детали	10%	Выше в 2 раза
3	Средне- серой »	20%	Отвечает паспортн. данным
4	Светло- серой »	40%	Ниже в 2 раза
5	Белой детали	80%	Ниже в 4 раза
6	Общая	в сред. 20%	Отвечает паспортн. данным

В случае съемки при низких уровнях освещения на пленках высокой светочувствительности замер общей яркости объекта бывает иногда невозможен из-за недостаточной чувствительности экспонометра. Переход на замер освещенности в этом случае может также быть невозможен, так как экспонометр показывает освещенность тем же числом, что и общую яркость. Выход может быть такой – измерять местную яркость более светлых фактур, чем средне-серая, например белых, отражающих свет в 4 раза больше. Но тогда калькулятор экспонометра нужно настраивать на чувствительность в 4 раза более низкую против паспортной.

2.3.4. Регулирование величин общей и местных экспозиций

Для изменения величины общекадровой экспозиции могут применяться следующие средства.

1. Изменения общей освещенности объекта съемки. При работе с искусственным светом (например, с лампами накаливания), это достигается разными путями:

а) изменением мощности ламп. Освещенность объекта и экспозиция изменяются пропорционально ваттам;

б) изменением расстояния источника света от объекта. При точечном источнике света действует закон квадратов расстояний. Неточечный источник может быть приравнен к точечному, если расстояние его до освещаемого объекта в 40 и более раз больше размера светящегося тела источника;

в) измерением ширины светового пучка посредством фокусирования источника света в арматуре осветительного прибора;

г) изменением напряжения питающей сети на клеммах прибора посредством реостата или трансформатора. При цветных съемках этот способ исключается, ввиду того, что при нем изменяется цветовая температура света;

д) навеской различных поглотителей света перед осветительными приборами, не изменяющих его спектрального состава.

2. Диафрагмированием объектива съемочной камеры. Экспозиция изменяется в геометрической прогрессии при последовательном переходе с одной диафрагмы на другую соседнюю.

3. Изменением частоты съемки. Экспозиция обратно пропорциональна частоте.

4. Изменением угла раскрытия щели obtюратора. Экспозиция прямо пропорциональна величине угла obtюратора.

5. Установкой перед объективом серого светофильтра на весь кадр. Экспозиция прямо пропорциональна коэффициенту пропускания светофильтра и обратно пропорциональна кратности его, которая является антилогарифмом его оптической плотности. Например, если оптическая плотность светофильтра равна 0,3, то экспозиция уменьшается в 2 раза, так как антилогарифм числа 0,3 равен 2. Иначе говоря, D равная 0,3 равноценна одному делению диафрагмы. Если экспозицию нужно уменьшить в 8 раз, то есть на 3 деления диафрагмы, надо применить серый светофильтр плотностью 0,9 (утроенная плотность 0,3).

Величину местной экспозиции можно регулировать четырьмя способами:

а) изменением местных освещенностей объекта съемки, изменяя этим яркость его отдельных деталей;

б) изменением коэффициента отражения объекта путем его подкраски светлой или темной краской, а иногда просто смачиванием поверхности водой. Последнее эффективно при клеевых окрасках поверхностей;

в) применением цветного съемочного светофильтра, избирательного поглощающего цветное излучение слишком ярких деталей объекта. Цвет светофильтра берется дополнительным к цвету излишне яркой детали;

г) применением серого съемочного светофильтра каширующего слишком яркие участки кадра.

2.3.5. Цветовая температура в экспонетрических расчетах

В зарубежной практике экспонетрических расчетов принят весьма удобный способ выражения и расчетов цветовой температуры в так называемых майред-числах. (Mired – сокращение от Mired reciprocal degree). Способ этот применяется также для характеристики действия цветных конверсионных светофильтров, предназначенных для компенсации цветовой температуры при фотокиносъемках.

Исчисление майред-чисел употребляемых для маркировки светофильтров ведется по обратным величинам цветовой температуры, умноженным на 10^5 . Так, например, белый свет с цветовой температурой 5000°K выражается майред числом 20 из следующего расчета: $10^5/5000 = 100000/5000 = 20$.

Красноватый свет лампы с цветовой температурой 3000°K выражается числом 33 (Числа эти именуются «декамайред»). Разница в цветности этих светов, составляющая 13 декамайред, и является количественной характеристикой конверсионного светофильтра, могущего уравнивать их фотографическое действие. Голубые светофильтры, обозначаемые буквой «В» (от Blue – голубой) уменьшают число майред, а красноватые, обозначаемые буквой «R» (от Red – красный) увеличивают. Следовательно, светофильтр обозначенный «В13» годится для съемки при лампах накаливания с цветовой температурой 3000°K на пленку, выпускаемую для дневного света, а светофильтр «R13» для съемки при дневном свете на пленку, предназначенную для лампового освещения.

Зная число майред, характеризующее ту или иную цветовую температуру освещения, легко рассчитать необходимый съемочный конверсионный светофильтр для данной пленки. Но нужно иметь в виду, что относительный сдвиг цветовой температуры в градусах Кельвина при родном и том же светофильтре получается разным, в зависимости от участка шкалы температур. Так например, светофильтр R10 понижает цветовую температуру 10.000°K на 5000° , а температуру 2.500°K – только на 500°K .

Цветные негативные пленки типа ЛН, балансируемые на цветовую температуру в пределах от 3130°К до 3500°К, требуют цветности освещения 32 – 28,6 декамайред. Пленки типа ДС, балансируемые на цветовую температуру 4.840 – 5770° К требуют 20,7 – 17,4 декамайред.

2.3.6. Изменения плотности негатива при изменениях освещенности объекта съемки

Приросты оптической плотности негатива на прямолинейном участке характеристической кривой негативного материала прямо пропорциональны приросту логарифма экспозиции, умноженному на гамму, до которой проявляется данный негатив. Формула имеет вид:

$$D_2 - D_1 = (\lg H_2 - \lg H_1) \cdot \gamma. \quad (2.5)$$

Пример: при удвоении освещенности объекта логарифм экспозиции увеличивается на 0,3. Если негатив будет проявляться до гаммы 1,0, то оптическая плотность его увеличится также на 0,3 и будет увеличиваться на эту величину при каждом удвоении освещенности объекта или, что то же самое, при каждом раскрытии объектива на одно деление диафрагмы. Если же для проявления выбрана гамма 0,7, то приросты плотности уменьшатся и будут равны произведению 0,3 на 0,7, то есть 0,21. Аналогично при гамме 0,6 они будут равны 0,18 и т. д.

Произведенный расчет является приближенным, так как при одном и том же изменении съемочной экспозиции на плотность негатива будет влиять также характер снимаемого объекта, влияющий на различную величину светорассеяния в системе объектив-камера-пленка. В наименьшей степени его влияние будет выражаться при павильонных съемках, особенно крупных планов, и в наибольшей – при натуральных съемках, особенно при включении в кадр больших площадей яркого неба или снежных пространств.

Таблица 2.3.

**Изменения плотности негатива при изменениях
освещенности объекта съемки**

Источник света	Цветовая температура в градусах Кельвина	Числа Майред
Нормальная бытовая осветительная лампа	2400	41,7
Прожекторная лампа	2550	39,3
Кинопрожекторная лампа	3000	33
Лампа КПЖ	3300	30
Дневной белый свет	4800 - 5500	21 - 18
Свет от неба в пасмурную погоду	6000 - 7000	16 - 14
Свет в тени от безоблач- ного неба разной степени синевы	8000 - 20000	12,5 - 5

2.3.7. Новое в технике определения экспозиции

Общий технический прогресс привел в последние годы к созданию за рубежом целого ряда полуавтоматических и автоматических способов определения и регулировки экспозиции. Решающую роль в этом сыграло использование фоторезисторов, позволяющих создавать приемники света с весьма высокой чувствительностью и использовать их в различных кинематических устройствах управляющих величиной экспозиции посредством автоматического диафрагмирования съемочного объектива.

Сам этот принцип использования светоприемника для воздействия на диафрагму объектива довольно стар и давно описан в литературе, однако вполне совершенные высокочувствительные к свету, и надежно работающие экспонетрические устройства в съемочных камерах, стали появляться лишь в последние годы.

Среди них наибольший интерес представляет способ определения общекадровой экспозиции по яркости сюжетно-важной детали, находящейся в центре кадра. Объектив с

переменным фокусным расстоянием при его максимальном выдвижении передает на фоторезистор изображение центральной части кадра (например, лица актера), исключая площадь яркого неба и других ярко светящихся деталей, которые при замерах интегральной яркости объекта всегда вносят значительные погрешности в определения экспозиции.

Передача изображения на фоторезистор происходит при посредстве зеркального obturatora кинокамеры, направляющего лучи на светорасщепительный кубик, по одну сторону которого находится фоторезистор, а по другую — визир камеры. Управляемый фоторезистором ток от миниатюрного аккумулятора поступает либо на гальванометр, по показаниям которого может производиться калькуляция экспозиции обычным способом (полуавтоматическим), либо на электропривод диафрагмы для автоматического изменения рабочего отверстия объектива в соответствии с яркостью центральной части снимаемого кадра.

В других конструктивных вариантах высоко чувствительный яркомер узко направленного действия монтируется рядом со съемочным объективом камеры и выполняет автономно те же функции.

Все эти новые системы объединены общим принципом определения общекадровой экспозиции по яркости избранной детали объекта съемки с исключением деталей высокой яркости. Если коэффициент отражения избираемой детали объекта будет всегда более или менее постоянным, то этот метод яркости по своим результатам будет равносителен методу освещенности.

В разработках новых улучшенных методик экспонометрии заслуживают внимания попытки совместить простоту и удобства операторских измерений света с повышенной их точностью и более простой калькуляцией местных экспозиций, в расчете на наиболее правильное использование рабочего участка характеристической кривой негативной пленки.

В этом отношении интересна методика экспонометрических расчетов, предложенная кинооператором Д.Н. Вакулюком, связанная с применением им же разработанного оригинального

операторского светомера («ОС – 60 м»). Она предусматривает значительное облегчение работы оператора со светом и, вместе с тем, точные установки местных яркостей объекта съемки, рассчитанных на желаемый тон в позитивном киноизображении.

Этому помогает градуировка шкалы экспонометра непосредственно в относительных величинах тона, которые будут получены при заданных режимах обработки негативной и позитивной пленок. Для оцифровки шкалы экспонометра взяты числа в пределах ряда реальных коэффициентов отражения фактур, что значительно облегчает ориентировку в яркостях снимаемых объектов и одновременно в тонах позитива.

Таким образом методика освобождает кинооператора-художника от необходимости контролировать установку света по оптическим плотностям негативного изображения (что требует, например, калькулятор Мосфильма – НИКФИ) и позволяет осмысливать тональную композицию кадра непосредственно в тонах будущего позитива.

Экспонометр Вакулюка, несмотря на использование в нем селенового фотоэлемента отличается высокой чувствительностью, благодаря применению в нем компактного транзисторного усилителя.

Среди зарубежных яркомеров, построенных на фоторезисторах, можно отметить спотметр «Минолта» (Япония) с углом охвата 1° , определяющий экспозицию посредством автоматически вращающихся круговых шкал калькулятора, наблюдаемых в визире одновременно с объектом съемки, и применявшийся в частности, американскими космонавтами при полете на Луну.

2.4. Световая композиция

2.4.1. Понятие световой композиции

В освещении есть множество понятий и закономерностей, которые нужно соблюдать. И композиция в освещении как бы означает сопоставление, соединение, связь между всеми объектами на изображении в кино, в театре или на телевидении.

Вообще под композицией понимают структуру художественного произведения, расположение и взаимосвязь его частей. Таким образом, этот термин применяют и для процесса творчества, и для его результата, и для свода правил, которым пользуется художник.

Под световой композицией мы понимаем систему правил, закономерностей и приёмов, служащую для организации или построения целостного, выразительного и гармоничного художественно-светового оформления какого-либо явления или действия происходящего в кадре кино или на сцене театра, а также взаимодействие и его отдельных деталей. Основная задача композиции – достижение целостности впечатления от произведения, всегда состоящего из отдельных частей. Поэтому световая композиция начинается с анализа объекта, с выявления его основных элементов, составных частей с их особенностями, сходством и различием. Так определяются, а в каких-то случаях и создаются, внутренние связи объекта. Приступая к творчеству, художник вынужден разделить свой мысленный, идеальный замысел на составные части, чтобы материализовать их и вновь соединить в вещественный образ – то, что мы называем произведением искусства. Совершенно очевидно, что единство всегда основано на неравенстве, различии и согласовании неравных частей. Это ведущее начало композиции. Пропорции – это соотношение частей целого.

Каждая композиция – своего рода мозаичная картина, состоящая из множества фрагментов. Элемент мозаики не имеет самостоятельного значения, но от числа, вида и соотношения этих самостоятельных фрагментов зависит целое. Так же и в световой композиции части не имеют самостоятельного значения, они сами по себе не являются законченными произведениями и существуют ради целого, подчиняясь его логике. Всякая световая композиция должна быть выразительна, ибо на этой основе строиться зрительское впечатление. Красота и выразительность – два источника, питающие искусство художника по свету и оператора. Их опыт даст возможность лицезреть, не просто изображение, а произведение искусства.

2.4.2. Средства световой композиции

Понятие о световой композиции рассматривает общие внутренние закономерности строения форм художественного произведения, а также конкретные средства достижения целостности и единства всего содержания изображения или сцены. Так, например, в дизайне цель композиции – это утилитарно оправданная форма вещи, имеющая функциональную, конструктивную и эстетическую ценность. Структура художественного произведения, формируемая по законам композиции, получает такие функциональные и конструктивные особенности, которые наилучшим образом отвечают его назначению.

Построение художественно-световой композиции обусловлено содержанием и характером произведения, которое она призвана оформлять. Творческий поиск художника по свету направлен на то, чтобы световая композиция несла в себе ясную и точно выраженную мысль. В ней должна отображаться субъективная оценка событий и действий, развёртывающихся перед зрителем. Световая композиция – важнейший организующий элемент театрального действия, придающий оформлению единство и целостность. Владение мастерством композиции необходимо, чтобы наилучшим образом согласовывать компоненты световой картины друг с другом, подчиняя их целому.

Принятие композиционного решения – это главная задача художника по свету в театре. Он должен иметь общий замысел, чтобы, отталкиваясь от него, искать конкретные приёмы освещения. Попытка создавать композицию, двигаясь в обратном направлении, от частного к общему, заведомо окажется неудачной. Световая композиция состоит из световых картин, создаваемых художником. Понятно, что в одной световой картине нельзя выразить весь замысел произведения; он раскрывается постепенно, в ходе сменяющихся друг друга кадров.

Главный объект световой композиции в первую очередь человек со всеми его желаниями, характером и мыслями.

Основная цель световой композиции – раскрытие его индивидуальности. К средствам приведения отдельных составляющих световой картины к композиционному единству относятся: пропорциональность, контраст, нюанс, тождество, соподчинение, масштабность, ритм. Выбор тех или иных средств композиции определяется функциональными и конструктивными требованиями.

Пропорциональный – имеет правильное соотношение частей с целым, соразмерный, соответственный. Очевидно, что умение найти верное соотношение различных характеристик цвета и света очень важно для художника. Контраст и нюанс – тонкие проявления художественной выразительности в искусстве. Для создания целостной внешней формы часто требуется усилить или, наоборот, сгладить неизбежные различия элементов формы. Именно здесь и оказываются полезными контрастные или нюансные световые соотношения.

Нюанс – это оттенок, едва заметный переход в цвете, в яркости света. Художник должен уметь нюансировать – передавать светом тонкие изменения в состоянии героев спектакля, оттенять декорации, делать едва уловимые переходы, например, изображая закат или восход. Световой нюанс используется в борьбе с монотонностью, жёсткостью ритма зрительного разделения больших плоскостей, для устранения цветовой монотонности. Он применяется в тех случаях, когда сходство сравниваемых форм (элементов) выражено сильнее, чем различие. Можно сказать, что нюанс – это способ передачи отношений приблизительно равных величин.

2.4.3. Контраст в световой композиции

Контраст в световой композиции – это резко выраженная противоположность нюанса. Драматургия построена на контрастах, которым при постановке должно быть найдено адекватное световое решение. Если пробуждение любви передаётся световыми нюансами, то муки ревности требуют световых контрастов. Контраст достигается резким изменением цвета, яркости, освещённости.

Световой контраст используется при сопоставлении тела и пространства, большого и малого, прозрачного и непрозрачного – во всех тех случаях, когда необходимо подчеркнуть имеющееся различие, внешнюю или внутреннюю (конструктивную) противоположность сценических форм, приёмов и т.п. Световой контраст необходимо рассматривать как средство создания композиционных связей в пространстве, средство построения пространственного единства несхожих элементов. Подчёркивая и усиливая различие форм и свойств, световой контраст делает их единство более напряжённым, впечатляющим, обостряет восприятие.

Тождество это есть абсолютное равенство, то есть равенство величины самой себе. При передаче отношений тождества перед художником стоит задача буквального повторения однажды найденного светового решения. Например, персонаж имеет свой "световой лейтмотив", который должен предварять или обозначать его присутствие на сцене. Или по ходу действия нужно точно повторить какой-то эпизод в воспоминаниях героя. В таких случаях даже самые тонкие нюансы исключаются. Они неизбежно исказят идейный замысел, так как обозначают и выражают близкое сходство, в то время как речь идёт о принципиальном тождестве.

2.4.4. Соподчинение и масштаб

Соподчинение. Принципы неравных соотношений, то есть световые нюансы и контрасты, дают возможность членить формы на элементы по степени значимости в системе целого. Композиционно организованное пространство спектакля понимается как система соподчинённых элементов, в которых главные и подчинённые элементы, взаимодействуя, усиливают друг друга, образуя в целом единство. Единство возникает, когда все элементы световой композиции равнозначны и когда появляются соотношения неравных состояний свойств и качеств. Именно такие соотношения делают элементы световой композиции соподчинёнными друг другу.

Масштаб в одном из своих значений понимается как мерило, относительная величина чего-нибудь. Масштабность означает соотнесение того или иного явления, формы с другими явлениями и формами окружающего мира. Чувство масштаба – результат реального восприятия мира как совокупности отдельных явлений. Как средство световой композиции масштаб следует использовать свободно, руководствуясь соображениями художественной выразительности.

Качество и количество (яркость, интенсивность) света должно соответствовать представлениям режиссера и художника о масштабности сценических явлений и событий. Например, фигура героя в маленьком круге света на погружённой во тьму сцене может выражать одиночество, затерянность человека в огромном мире. Свет может служить средством сравнения самых разных величин. Он позволяет зрительно разделять пространство сцены. Чем крупнее членения формы, тем крупнее масштаб. Масштабность может меняться в ходе спектакля, например, если нужно показать изменение представлений героя о жизни, показать землю с высоты. Во всех подобных случаях свет помогает изменить облик предметов и зрительное восприятие их относительных размеров.

Восприятие размеров зависит от многих условий. Художник по свету должен знать, что существуют зрительные иллюзии. Белые и светлые предметы выглядят крупнее, чем равные им по размерам тёмные. Предмет, расположенный на ограниченном фоне или в окружении малых форм, кажется значительно больше, чем на большом поле или среди крупных предметов. Обычная иллюзия зрения – преувеличение длины вертикальных линий и приуменьшение горизонтальных. Соответственно и форма, членённая по вертикали, кажется выше, чем нерасчленённая или расчленённая по горизонтали.

Ритм – это повторение по определённой схеме каких-либо элементов, в том числе и зрительных. Ритм создаёт внутреннюю организацию произведения (музыкального, поэтического), основанную на равномерном чередовании звуков, движений и тому подобное. Ритм как одно из средств создания световой композиции способствует смене эмоций, задаёт темп

действия. Закономерное чередование световых объёмов, поверхностей, граней и т.д., а также упорядоченное изменение характеристик элементов формы — всё это используется в качестве специфического средства световой композиции. Ритм, в том числе и световой ритм, может быть равномерным, убывающим или нарастающим. Простейший ритм — это повторение одних и тех же форм с постоянной частотой. В световой композиции под ритмом можно понимать равномерное чередование света и темноты или света разных тонов.

Динамический ритм предполагает постепенное уменьшение всех элементов и интервалов между ними. В случае световой композиции это может быть, например, постепенное сокращение времени световых эффектов. Так можно имитировать перспективное сокращение, подобно тому, как это впечатление достигается в живописи: путём уменьшения последовательных фигур. Замедляющийся световой ритм может передавать постепенное исчезновение, угасание, в том числе и смерть героя. Применяется он и для снятия напряжения. Выразительные возможности ритмических систем имеют свои пределы. Создавать световую композицию на повторении только одного элемента невозможно — это породит утомительную монотонность. Чтобы композиция была завершённой, используемые в ней метрические ряды должны быть закончены, иначе они выглядят случайными фрагментами целого.

Для окончания светового ритмического ряда могут быть использованы разные приёмы, например, выделение завершающего элемента цветом, яркостью. Световой ритм воспринимается зрительно. Для световой ритмизации из всех признаков формы наиболее значимым является размер элемента, затем — интервал, цвет, свет. Ритмические ряды могут выстраиваться в направлении от больших элементов к меньшим, от тёмных — к светлым, от малых интервалов — к большим. С понятием ритма связаны понятия модуля и симметрии.

Модуль — это величина, условно принимаемая за единицу, повторяющаяся во всех измерениях какой-либо художествен-

ной формы целое число раз. Модули широко применяются, например, в дизайне, при конструировании различного оборудования из унифицированных элементов.

2.4.5. Симметрия

Слово симметрия буквально переводится как соразмерность. Симметрия означает полное соответствие в расположении частей целого относительно центра (средней линии), одинаковость в размещении чего-либо. Световая симметрия – это одинаковость (с точки зрения цвета, ширины светового потока и т.д.) освещения участков сценического пространства.

Симметрия – одно из возможных средств достижения единства и художественной выразительности световой композиции. Но отсутствие или нарушение симметрии – асимметрия – более естественны. Асимметричная световая композиция применяется обычно для подчёркивания динамичности образа для создания впечатления неустойчивости – физической, душевной и т.д. Однако, асимметрия не исключает равновесия в принципе.

Зрительное впечатление равновесия достигается сбалансированным размещением элементов световой картины относительно некоторой точки (зрительного центра), которая в общем случае смещена относительно геометрического центра композиции. В асимметричных световых композициях равновесие достигается путём приближения светлых (более лёгких) форм к краю картины и сосредоточения тёмных (тяжёлых) форм в центре. Композиция, построенная по диагонали, создаёт впечатление динамики и в целом устойчива. Картинной плоскостью в театре служит зеркало сцены. Световой композиционный рисунок берёт начало от сюжетного центра световой картины. Необходимо определить этот центр и его местонахождение на картинной плоскости.

При освещении спектакля эти задачи – удалённость и освещённость – решаются одновременно. Например, один человек находится на первом плане, а другой – на четвёртом. Оба человека одинаково хорошо освещены. Таким образом, два

объекта световой картины приобретают равное значение. Нормальное восприятие световой картины достигается на значительном удалении от картинной плоскости кадра. При заполнении картинной плоскости важно:

- обеспечить центральное положение главного объекта;
- соблюсти принципы равновесия (соотношение размеров по вертикали, по горизонтали, симметрия, асимметрия) при заполнении картинной плоскости;
- соотносить фон и центральный объект.

Различают два основных вида световой композиции: фронтальную и объёмно-пространственную. Простейшим видом *фронтальной световой композиции* является плоскость, обращённая лицевой частью к зрителю и относительно равномерно освещённая по вертикали и горизонтали. Освещение форм в глубину от зрителя имеет подчинённое значение. Обычно элементы фронтальной композиции в своём взаиморасположении не получают развития по глубине и воспринимаются как мелкий рельеф, членивший поверхность. Вид фронтальной композиции должен быть по возможности одинаковым при взгляде из любой точки зрительного зала.

При освещении фронтальной композиции нужно сохранять соотношение вертикальных и горизонтальных размеров: если один из них становится слишком малым, плоскость превращается в линию. Однако, фронтальность может быть нарушена членениями, если в результате движения взгляда в глубину возникает третье измерение - глубина.

Объёмно-пространственная композиция представляет собой форму, развитую по всем трём пространственным координатам, имеющую, как правило, замкнутую внешнюю поверхность, вокруг которой организуется движение. Поэтому объёмная композиция строится главным образом в расчёте на восприятие со всех сторон. Выразительность и ясность восприятия объёмных композиций зависит от ряда условий: от вида поверхности, образующей форму, от расстояния и ракурса формы относительно зрителя. Объёмно-пространственная композиция всегда взаимодействует с окружающим пространством.

Среда может повышать или понижать выразительность одной и той же композиции, складываясь из освещения материальных элементов (поверхностей, объёмов) и пространства (площадей) между ними. Объёмная композиция характеризуется, как уже говорилось выше, распределением массы по трём координатам пространства, образуя трёхмерную форму. Объёмную композицию характеризует относительно замкнутая поверхность, организующая движение вокруг себя. Таким образом, объёмная композиция по свету строится главным образом в расчёте на восприятие со всех сторон. Она рассчитана на движение в глубину. В такой композиции характерный и доминирующий признак – не одна, какая-либо форма или группа, а пространство, образуемое при освещении форм. Правила симметрии и асимметрии здесь в принципе те же, что и при создании фронтальной композиции. Для целостности асимметричной объёмной световой композиции требуется зрительное равновесие всех освещённых элементов. Так же как фронтальная, объёмно-пространственная композиция может иметь одну или несколько осей симметрии или строится асимметрично. При решении объёмно-пространственной композиции возникают следующие задачи:

- освещение как отдельных форм, так и групп в организуемом пространстве с учётом их взаимного расположения;
- освещение промежутков между формами и подчинёнными пространствами, образуемыми членением главного пространства;
- чёткая ориентация всех элементов на основные точки зрения.

Передача глубины пространства осуществляется при помощи линейной и воздушной (светоцветовой) перспективы. Крупные формы кажутся расположенными ближе, чем мелкие. Они и выглядят более отчётливо и рельефно.

Световая перспектива – конструктивное расчленение пространства светом. Свет на сцене обычно нужен для создания целостной картины восприятия атмосферы спектакля, изменения пространственных форм, усиления яркости цвето-

вого восприятия. Воздушная, тональная и световая перспективы служат художнику по свету средством создания световой картины. Сценическая перспектива мыслится в движении. Воздух, невидимый глазу, своим постоянным движением обогащает перспективу. Переливающийся свет делается почти осязаемым. Фигура, двигаясь в пространстве сцены и изменяясь тонально, всегда выявляет глубину этого пространства. Занимаясь театральным освещением на сцене, следует помнить некоторые правила и закономерности:

- темное помещают обычно впереди, потому что глаз за темным ищет светлое и сосредотачивается на нём. Светлое пятно всегда «уводит» глаз в глубину сцены;

- если на сцене находится ярко-белый объект, зрителю трудно перевести взгляд с него на более темные объекты сцены.

Создание различных световых композиций очень важное направление при освещении в любых ситуациях и в кино и в театре и на телевидении. Даже при проведении концертов, различных шоу программ создание световой композиции зависит от задумки, от возможностей осветительной техники и опыта осветителей, операторов и тех, кто непосредственно решает общее освещение все сцены и всей программы.

В освещении в кино существуют *основные правила* по которым нужно ориентироваться в любых ситуациях, а именно:

- каждый осветительный прибор должен работать «сам за себя», т.е. выполнять только одну какую-либо задачу освещения;

- думать надо о свете, а тени сами о себе позаботятся – этот емкий афоризм очень точно подходит только для черно-белого кино, но, правда, он совершенно не подходит к кино цветному. Не зря в экспонометрии сравниваются точки экспонометрических замеров при черно-белой съемке и при цветной по отдельности и это не надо забывать.

Если для черно-белого кино важно контролировать света на лице для того, чтобы знать их отличие от уровня белого, иначе пропадет фактура на лице персонажа, то при цветной съемке этого совершенно недостаточно, потому что нужно

контролировать и уровень черного, т.е. те точки на характеристических кривых, где наступает исчезновение цвета.

Именно тени и полутени являются главной заботой в освещении при цветной съемке:

- если пришлось направить в то же место второй прибор, то надо хорошенько подумать, нужен ли первый. Это выражение сохраняет свое значение и сегодня, потому что предостерегает от появления нескольких теней на фоне от одной фигуры или предмета, что считается у профессионалов верхом неряшливости;

- включать приборы заполняющего света, если они нужны, надо самыми последними, когда весь свет уже установлен. Это важно потому, что в результате работы всех приборов (а их по периметру может быть несколько десятков) уже создается некоторый уровень рассеянного света и его может оказаться вполне достаточно, а дополнительный и преждевременный прибор рассеянного света может нарушить задуманные тональные соотношения в кадре;

- прибор заполняющего (рассеянного) света надо всегда располагать с той же стороны от оптической оси камеры, что и основной рисующий, для того чтобы тень от него располагалась внутри тени от рисующего и, таким образом, была незаметна, но создавала дополнительные тональные градации в тенях, но часто заполняющий свет ставят в противоположной стороне от рисующего;

- светлое лучше проецировать на темное, а темное – на светлое;

- в большинстве случаев рисующий свет должен направляться чуть сверху и сбоку – это соответствует наилучшей проработке объемной формы и наиболее удобно в производстве;

- желательно, если фон освещается отдельно от фигуры (что в основном и делается), это позволит осветить их по-разному;

- величину светового пятна (его границы) необходимо соотнести с границами кадра, особенно если сцена освещается только одним большим прибором рисующего света, для того

чтобы не потребовалось направлять в то же место второй прибор.

В кино с помощью освещения решаются творческие, художественные задачи, которые сводятся к выявлению объемов и фактуры предметов, цвета, реалистичности эффекта освещения, пространства и других элементов формы.

Решение этих задач или функций в прецизионной системе освещения строго разграничено, о чем говорит первое правило: «каждый прибор работает сам за себя». Отсюда и возникло понятие «основные виды света». Каждый вид света выполняет свою художественно-технологическую задачу. И каждая задача выполняется отдельным прибором или, в большинстве случаев, группой приборов. Итак, основными видами были и являются до сих пор: эффектный свет, рисующий свет, контровой, фоновой, моделирующий, заполняющий. Названия расположены в том порядке, в каком наиболее целесообразно освещать сцену. Правда, что чаще бывает операторы, и художники по свету начинают с рисующего. Главная особенность системы в том, что все виды света должны были существовать одновременно — это обязательно, в этом заключался весь смысл; гармоничное единство в освещении обеспечивалось тем, что преобладал один какой-либо вид света, а остальные играли подчиненную роль. Термин «эффект освещения» означает не какое-то эффектное состояние света, а просто одно из многих типичных состояний освещения к которой мы привыкли в жизни. Любое освещение существует обязательно в виде какого-либо эффекта освещения, а один эффект отличается от другого: направлением света, площадью, которую он покрывает в кадре, контрастом (соотношением количества направленного и рассеянного света), цветовой температурой и наличием в кадре других источников, с другим спектром, соотношением пространства света и пространства тени, которыми выражается конкретный эффект освещения. Все основные задачи освещения, это выявление объемов, фактуры, пространства и организация цветового строя кадра — решаются практически одновременно, комплексно. Каждый новый осветительный прибор, включенный в дополнение к

предыдущим, может сильно изменить всю картину, поэтому требуется постоянная обратная связь. В этом случае промежуточный результат сверяется с тем, что задумывалось, т.е. необходимо все время сохранять некоторое гармоническое единство всех элементов освещения на протяжении всего процесса установки света на киносъемочной площадке.

2.4.6. Пространство света

Пространство света – это просвеченный воздух, это осязаемые потоки света, в которые попадают движущиеся фигуры актеров, и эти потоки непосредственно связаны с источником света, будь это окно или настольная лампа. Каждый источник света имеет свое неповторимое пространство света, свою особую пространственную форму (у окна - одну, у настольной лампы - другую, у свечи - третью) и свой характер спада освещенности по мере удаления от источника. Что же касается пространства тени, то оно все заполнено различными рефлексирующими потоками света, создающими подсветку теней на предметах рефlekсами. Эти рефlekсы имеют разную силу и разный цвет, и они-то и являются основным элементом кадра, влияющим на колорит. Опять-таки еще Леонардо да Винчи замечал, что «поверхность каждого тела причастна к цвету противостоящего ему предмета». Современная система освещения в значительной степени направлена на выявление этой особенности цветового взаимодействия, и в этом заключается ее главная цель. При освещении каждый объект съемки в разных своих участках бывает освещен не только с разной силой и с разным контрастом, но также освещен разноцветно, разными потоками света с различным спектральным составом. Эта разноконтрастность и разноцветность реального освещения – неперемное условие, с которым необходимо считаться. Освещения на природе или как по-другому называют натурные съемки, сводится к выбору места съемки, времени съемки и подходящей погоды. Причем есть два способа решения этой задачи: первый – когда в выбранное время на объекте сами собой создаются такие тональные и

цветовые соотношения, которые надо только технически грамотно зафиксировать, и тогда все рефлексы, блики и т.п. будут присутствовать в изображении на экране. При этом если возникает потребность в какой-либо трансформации контраста или оптического рисунка, то пользуются светофильтрами или легкими отражательными экранами, не разрушая при этом основной тональный строй, цветовой расклад и световой эффект. В этом случае предполагается бережное отношение к состоянию природы и живая обратная связь между художественным замыслом и его реализацией. Главное здесь увидеть, а затем профессионально грамотно воспроизвести с наименьшими потерями то, что увидено. Второй способ – это активное вмешательство различными техническими средствами, и в первую очередь электрической подсветкой, в контраст, свет и цветораспределение на объекте. Нельзя утверждать, что один подход лучше, чем другой, потому что на практике приходится поступать различным образом, в зависимости от обстоятельств. Во всяком случае, надо отдавать себе отчет в том, что искусственная электрическая подсветка в значительной степени нарушает естественное состояние освещения на объекте. Например, при съемке против солнца, на контровом свете, как принято говорить, она нивелирует все рефлексы, «убивает» разноцветность освещения в тенях, поэтому пользоваться ею следует исходя из задуманного, чтобы не было разноцветности и не нарушалась общая тональность изображения. На природе опытные операторы часто используют электрические осветительные приборы, тут главное точно подобрать цветовую температуру и подобрать нужные светофильтры. Но возможен случай, когда электроподсветка сознательно используется как средство для изменения всей тональности и всего цветового строя. Речь идет об изменениях соотношения «фигура-фон», которое, как известно, является одним из самых главных элементов в композиции кадра. Иногда электрическая подсветка выполняет чисто технологическую задачу. Например, вся сцена снимается днем на прямом солнечном свете (так бывает, что эти условия заданы и изменить их нельзя). При съемке очередного монтажного плана

этой сцены - например, крупного плана героини - возникает проблема: солнечный свет падает на лицо чрезвычайно невыгодно, ломает объемную форму, глаза остаются в глубокой тени и т.д. Тогда над головой актрисы за пределами кадра растягивают белый или полупрозрачный тент-затенитель, который начисто перекрывает солнечный свет, ее лицо оказывается в тени, а затем электрической подсветкой создают объем и форму в соответствии с требованиями портретной характеристики данного персонажа. Конечно в этом случае яркость, сила света, направление, контраст и цветовая температура этой подсветки не должны отличаться от солнечного света. Иногда электрическая подсветка необходима для смягчения контраста, если снимают портрет на фоне светлого пасмурного неба, при этом подсветка улучшает проработку объемов и одновременно подсвечивает глаза актера. Естественно, яркость и цвет этой подсветки должны соразмеряться с общим освещением пасмурного дня.

2.4.7. Съемки в интерьере

Одним из самых сложных съемок для кинематографистов и для телевизионщиков это съемка в интерьере. Освещение интерьера - самая трудная, но с другой стороны и самая интересная с художественной точки зрения задача. При удачном ее решении огромный выигрыш в достоверной передаче пространства, фактур, естественности освещения - словом, той предметной и световой среды, подлинность и выразительность которой играет в современном кино огромную роль. Кроме того, нет двух интерьеров с одинаковой световой атмосферой. Даже в одном и том же интерьере в течение дня цветовая атмосфера меняется настолько, что часто это доставляет кинооператору немало хлопот, потому, что в едином эпизоде, который снимается в течение съемочного дня, необходимо соблюсти тональное и цветовое единство всех входящих в него монтажных кадров. И здесь кроме рационального распределения времени для съемки каждого кадра большую роль играет умелое маневрирование дополнительной

осветительной аппаратурой. Но прежде чем включать электрическую подсветку, нужно точно определить с тем, как освещен интерьер в обычной жизненной ситуации. Главное тут сохранить главный закон освещения, натуральность и максимальная приближенность к реальности. Какие световые потоки распределяются в пространстве этого интерьера и каков их спектральный состав, хотя в комнате одно окно и, казалось бы, никаких неожиданностей быть не должно. При организации освещения в интерьере надо прочувствовать и сохранить ту тональную и цветовую атмосферу, которая в нем присутствует. Часто тот или другой интерьер выбирают для съемки именно из-за этой особой атмосферы, а не только из-за того, что за окном видна настоящая живая натура. Уникальность и особая выразительность интерьера состоит также в том, что можно в пределах одного непрерывного кадра выйти с камерой из помещения за актерами на улицу и вернуться затем с ними обратно. При этом изменение уровня освещенности, контраста и цветности в одном непрерывном кадре придает особую убедительность среде, в которой происходит действие. Классический подход к технологии освещения в интерьере заключается, как известно, в разделении всех интерьеров на два вида: *с большим остеклением и с малым*. Внутри интерьеров с большим остеклением преобладает дневной свет, что и снаружи, но только меньшей силы, поэтому подсветка должна иметь спектральный состав дневного света. Что же касается интерьеров с небольшими окнами, то для их съемки целесообразнее использовать искусственный свет, с цветовой температурой 3200 К, при этом окна закрывать пленочными светофильтрами, которые сбалансируют со светом за оконными проемами. Если в интерьере преобладает дневной свет, то в действительности спектральный состав подсветки не обязательно в точности должен соответствовать цветовой температуре 5500 К. Ведь в некоторых зонах пространства такого интерьера цветовая температура опускается до 3200 К и только в районе окон набирается 5500 К, причем подоконник и пол под окном, если туда не попадает прямое солнце, освещены рассеянным светом неба, т.е. имеют более голубое освещение.

Эту операцию нужно подбирать экспериментально, главное достигнуть максимального результата.

Контрольные вопросы

1. Экспозиция.
2. Освещенность.
3. Ключевой свет.
4. Контраст освещения.
5. Контраст светлот.
6. Интервал яркости.
7. Количественное управление световым потоком.
8. Виды оценок экспонометрических условий съемки.
9. Яркомеры и измерения яркости.
10. Определения интервала яркости объекта.
11. Особенности измерений освещенности.
12. Измерения контраста освещения.
13. Экспонометрические формулы.
14. Принцип построения калькулятора экспонометра.
15. Определения общей экспозиции по местным яркостям объекта съемки.
16. Регулирование величин общей и местных экспозиций.
17. Цветовая температура в экспонометрических расчетах.
18. Техника определения экспозиции.
19. Понятие световой композиции.
20. Средства световой композиции.
21. Контраст в световой композиции.
22. Соподчинение.
23. Масштаб.
24. Симметрия.
25. Пространство света.

ЧАСТЬ 2 ОСНОВЫ ЦВЕТОВЕДЕНИЯ

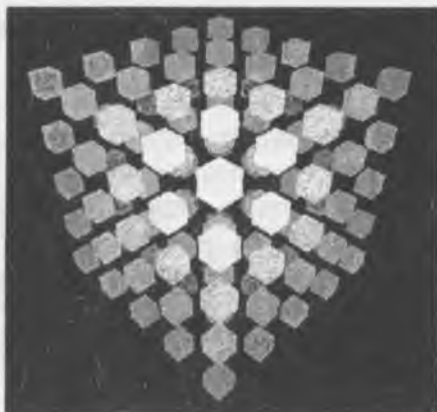
ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ЦВЕТА

3.1. Основы новой модели цифрового цвета

Цвет – это свойство света вызывать определенное зрительное ощущение в соответствии со *спектральным составом отражаемого или испускаемого излучения*. Свет разных длин волн возбуждает разные цветовые ощущения.

Цветоведение изучает и раскрывает основные закономерности в области цветовых явлений природы, создаваемой человеком предметной среды и всего мира искусств (тех его видов, которые ориентированы на зрительное восприятие).

Модель COLORCUBE. COLORCUBE – это трехмерная модель, с помощью которой можно изучать или преподавать теорию цифрового цвета. Это элегантное представление цветов ликвидирует пропасть между аддитивной и субтрактивной системой цветов, а также определяет методы, с помощью которых цвета хранятся, обрабатываются и воспроизводятся в компьютерной технологии.



Все больше и больше людей открывают для себя рынок цифрового изображения. Цифровые камеры, цветные принтеры и сканеры все больше дешевеют и таким образом, становятся доступными для все большего числа пользователей. Вместе с этой революцией в использовании цвета появилась и необходимость понять, что же такое цифровой цвет, и разобраться в его особенностях.

Исследования показывают, что рядовые пользователи пасуют перед сложным поведением цифрового цвета и часто жалуются на то, что "цвета при печати выглядят совсем не так, как на мониторе".

Несмотря на удивительный прогресс в технологиях воспроизведения цвета, очевидно, что лишь немногие люди разбираются в теории цифрового цвета. Из-за неспособности разобраться в новых технологиях цвета клиент может разочароваться в продукте или предъявлять к нему завышенные требования.

Компания Spittin Image Software представляет новое простейшее изобретение, предназначенное для того, чтобы объяснить людям принципы работы цифрового цвета. Это изобретение недавно было запатентовано в США под названием COLORCUBE. Оно представляет собой изображение физической модели того, как цвета хранятся, обрабатываются и воспроизводятся в цифровых устройствах.

3.1.1. Как человеческий глаз видит цвета

В человеческом глазе присутствуют два вида рецепторов: палочки и колбочки. Палочки реагируют на оттенки серого, а с помощью колбочек мозг способен воспринимать спектр цветов. Существует три типа колбочек: первые реагируют на красно-оранжевый цвет, вторые - на зеленый, а третьи - на сине-фиолетовый (Рис.3.1). Когда стимулируется только один тип колбочек, мозг видит только один соответствующий цвет. Таким образом, если стимулируются наши "зеленые" колбочки - мы видим "зеленый" цвет.



Рис.3.1. Кривые чувствительности к спектру трех типов колбочек человеческого глаза.

Если красно-оранжевые - "красный". Если одновременно стимулировать зеленые и красно-оранжевые колбочки, мы видим желтый цвет. Глаз не способен отличить настоящий желтый цвет от некоей комбинации красного и зеленого. То же самое касается нашего восприятия таких цветов как циан, фуксин и прочих межспектральных цветов.

Из-за такого физиологического свойства нашего глаза, мы можем его "обмануть", представив полную гамму видимых цветов путем пропорционального смешивания всего лишь трех: красного, зеленого и синего.

3.1.2. Определение основных цветов

Разложив любой цвет с помощью призмы можно определить составляющие его красный, зеленый и синий цвета (основные аддитивные цвета), либо циан, фуксин и желтый (основные субтрактивные цвета). Этот простой, но показательный прием позволяет определить настоящие основные цвета. Чем точнее мы знаем, какие цвета являются основными, тем больше вторичных цветов с их помощью мы можем воспроизвести.

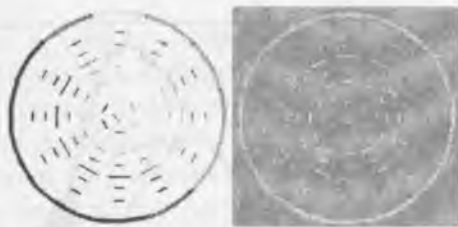


Рис.3.2. Просматривая эти круги через призму, мы можем увидеть основные цвета.

Круг на белом фоне разлагается на комбинацию Циан/Фуксин/Желтый.

Тот же круг на черном фоне разлагается на комбинацию Красный/Зеленый/Синий.

3.1.3. Аддитивный и субтрактивный цвет

Телевизоры, камеры, сканеры, мониторы компьютеров основаны на аддитивной системе воспроизведения цветов (RGB), где красный (R), зеленый (G) и синий (B) в комбинации создают белый. Офсетная печать, цифровая печать, краски, пластик, ткань и фотография основаны на субтрактивной системе цвета (CMY/CMYK), где смесь циана (C), фуксина (M) и желтого (Y) создают черный цвет (K).



Рис.3.3. Оси RGB и CMY, помещенные в одно и то же пространство опорных цветов. Вид извне.

Уникальность COLORCUBE состоит в том, что в нем обе системы объединены в одну модель. Чтобы переключиться из системы RGB в систему CMYK, достаточно всего лишь повернуть куб.

3.1.4. Цветовые модели

С каждым новым успехом в теории цвета появляется новая модель, с помощью которой излагается эта новая теория. К сожалению, приверженцы старых цветовых моделей редко когда обращают внимание на новые модели. Например, популярный сейчас цветовой круг мало чем отличается по внешнему виду и работе от того, что был представлен сэром Исааком Ньютоном. Художники, опираясь на этот круг, по-прежнему неправильно считают основными цветами красный, желтый и синий вопреки тому факту, что такие технологии, как офсетная печать и фотография, которым уже более ста лет, базируются на трехмерной системе цвета, где основными цветами являются циан, фуксин и желтый.

В число прочих моделей, используемых специалистами в различных отраслях, являются: Hue/Saturation/Value (HSV), карты CMYK, система RGB, система цветов Pantone, система CIE, стандартные цвета DIN и карты спектрального свечения.

Компьютеры и прочие цифровые устройства определяют цвет, основываясь на новой цветовой модели, которая называется COLORCUBE. Она охватывает область цифрового представления цвета.

3.1.5. Хранение изображений в компьютере

Все цифровые устройства работы с цветом хранят, обрабатывают и воспроизводят цвет и цветные изображения с помощью значений RGB. Для того чтобы сохранить цифровое изображение, его сначала требуется разбить на сетку мелких пикселей (точек). Каждый пиксель замеряется на количество в нем красного, зеленого и синего цветов. Затем все изображение в целом записывается пиксель за пикселем. Для хранения

изображения площадью 3 квадратных дюйма с разрешением 150 точек на дюйм требуется 202.500 пикселей или 607.500 байт.

Часто теоретическую модель, описывающую принцип хранения цветов в компьютере, представляют в виде куба. Этот метод прекрасно зарекомендовал себя, позволяя с легкостью переключаться между различными цветовыми моделями, включая цветовой круг, схему CIE, схему HSV, сферу Мюнселля, систему Pantone, стандарт цветов DIN и карту цветов спектрального свечения.

Фундаментальное отличие COLORCUBE от всех других моделей состоит в том, что куб описывает цвета в цветовом пространстве, основываясь на входных параметрах (на количестве основных пигментных цветов, используемых для создания смешанного цвета). Другие же модели базируются на измерении выходных параметров (т.е. на том, как выглядит результирующий цвет). Система цветов, основанная на входных параметрах, значительно облегчает решение вопросов с наименованием цветов, и с воспроизведением, выводом, калибровкой, обработкой и преобразованием в другие цветовые схемы.

3.1.6. Представление цветовой гаммы

Возможность представить все существующие цвета в виде трехмерной цветовой гаммы и видеть их взаимосвязь друг с другом дает огромное преимущество при работе с цветом. Хотя уже и существуют несколько компьютерных моделей, отображающих теоретически цветовую гамму, модель COLORCUBE первая в своем роде физическая модель, в которой видимы все внутренние цвета.

Человеческий глаз способен видеть более 16 миллионов оттенков цветов. Ключевое свойство COLORCUBE состоит в том, что сначала определяются внешние точки куба, а затем определяются цвета и оттенки между этими ключевыми точками. Таким образом, определяя крайние границы цветовой гаммы, мы получаем также возможность видеть и

промежуточные цвета. Задавая общее количество требуемых цветов, мы можем генерировать кубы любой плотности. Например, COLORCUBE, который определяет все воспроизводимые цвета, будет иметь в каждой грани 256 кубиков, то есть состоять из 16,777,216 кубиков.

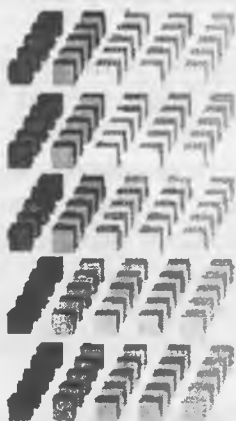


Рис.3.4. Цветовые плоскости в трехмерном цветовом пространстве.

3.1.7. Смешивание цветов

Каждый цветовой элемент в COLORCUBE имеет уникальный цифровой идентификатор, указывающий на то, в какой пропорции были использованы исходные значения для воспроизведения данного цвета. Каждый элемент также имеет свое уникальное местоположение внутри куба. Таким образом, образуется связь между информацией о положении и информацией о способе смешения цветов для данного элемента.

Если дана информация о смешении цветов, мы всегда сможем вычислить, где в кубе расположен данный элемент. Если дано расположение элемента, мы можем вычислить, в какой пропорции надо смешивать основные цвета, чтобы получить цвет данного элемента. Используя это свойство

COLORCUBE, нам не нужно уже больше гадать по поводу названий цветов, их описаний и параметров смещения. Теперь мы можем быть точно уверены в том, что определенный нами цифровой цвет всегда можно будет воспроизвести в данной гамме и что это будет один и тот же цвет.

3.1.8. Выбор цвета

Уникальное трехмерное расположение цветов в модели COLORCUBE прекрасно подходит для инструментов выбора цвета. С помощью куба запросто можно определять дополнительные цвета, гармоничные комбинации, подбирать теплые и холодные цвета, находить ненасыщенные цвета, их оттенки, цвета с одинаковыми значениями. Становится ясным, что все взаимосвязи между цветами носят математический характер, и эти взаимосвязи можно смоделировать с помощью простой математики в декартовых координатах XYZ.

3.1.9. Манипуляции с цветом

Для манипуляции с цветами в цветовой гамме необходимо определить набор математических правил, с помощью которых будут меняться цвета. Математика цвета разбивает цвет на составляющие основные цвета, а затем проводит с ними математические операции. В результате выводятся формулы смешивания для получения любого нового цвета, выбранного с COLORCUBE (Рис.3.5).

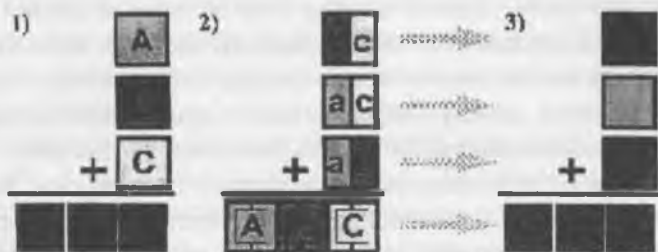


Рис.3.5. Результат смешения двух цветов.

Например, для того, чтобы предсказать результат смешения двух цветов, разложите каждый цвет на составляющие его основные цвета. Затем сложите одинаковые основные цвета. В результате получаются координаты, по которым в COLORCUBE можно найти получаемый цвет. Та же логика применяется и к вычитанию цветов (вычитанию одного цвета из другого), а также к таким более сложным операциям как регулировка контраста, яркости и насыщенности.

Математика цвета в гамме субтрактивных цветов:

I. Равное количество циана, фуксина и желтого (ABC) дает черный (K).

II. Потому что:

1. Равные количества фуксина и желтого дают красный.
2. Равные количества циана и желтого дают зеленый.
3. Равные количества циана и фуксина дают синий.
4. Равные количества красного, зеленого и синего дают белый.

3.1.10. Определение цветов и калибрация

Проблемы, возникающие при калибрации и определении цветов, вызваны тем, что все эти системы используют различные диапазоны видимых цветов. Для того, чтобы эффективно определять цветовые соответствия между различными цветовыми системами, необходимо проводить сложные математические вычисления. Если эти вычисления не сделать достаточно точными, цвета конечного изображения не будут соответствовать оригиналу.

В настоящее время для правильного определения соответствия цветов производятся спектральные замеры каждого из устройств, участвующих в процессе, при этом в одинаковых условиях освещенности. После этого цвета переводятся в единое поле системы CIE.

В таких популярных программах, как Corel Photo Paint и Hewlett Packard Scanning имеются средства с двухмерным интерфейсом калибрации цвета. Эти интерфейсы сложны в

использовании, не дают полной информации и требуют глубоких знаний о цвете.

Если трехмерная модель цвета получит признание и будет использована в интерфейсах программ, это будет значительный шаг в их улучшении. В трехмерном пространстве проще отобразить различные цветовые системы и их соответствия, а также весь набор теоретически видимых цветов.

3.2. Основы теории цвета

3.2.1. Определение понятия цвета

Всем нам известно, что наука не может обойтись без измерений и единиц измерения, и наука про цвет не исключение. Поэтому сначала попытаемся дать определение понятию цвета, и основываясь на этом определении попробуем найти способы его измерения.

Никто не удивится, услышав, что цвета воспринимаются нами при помощи глаз, которые улавливают для этого свет окружающего нас мира. Свет – это электромагнитное излучение диапазона длин волн 380-760 нм (видимого для глаза), поэтому попробуем найти ключ к способам измерения цвета в свойствах этих лучей, предполагая, что цвет – это особенности попавшего нам в глаза света. Это никак не противоречит нашим размышлениям: именно свет попадая в глаза заставляет человека воспринимать цвет.

Физике известны и легко поддаются измерению такие параметры света как мощность и его спектральный состав (то есть распределение мощностей по длинам волн – спектр). Измерив спектр отражённого света, например, от синей и красной поверхности, мы увидим что находимся на правильном пути: графики распределения мощностей будут существенно отличаться, что подтверждает наше предположение, что цвет – это свойство видимого излучения, так как эти поверхности разного цвета. Первая трудность, которая нас подстерегает, это необходимость записывать не меньше 35 числовых значений спектра (видимый диапазон длин волн 390-740 нм с шагом 10 нм) для описания одного цвета. Ещё не успев начать

обдумывать способы решения этой второстепенной проблемы, мы обнаружим, что спектры некоторых идентичных по цвету образцов ведут себя странно (красный и зелёный график):

Мы видим, что спектры отличаются существенно, несмотря на безошибочно одинаковый цвет образцов (в данном случае – серого цвета; такие два излучения именуются метамерными). На формировании ощущения цвета этих образцов влияние оказывает только свет, который от них отражён (упустим здесь влияние цвета фона, уровень адаптации глаза к освещению и другие второстепенные факторы), потому его спектральное распределение – это всё что могут нам дать физические измерения наших образцов.

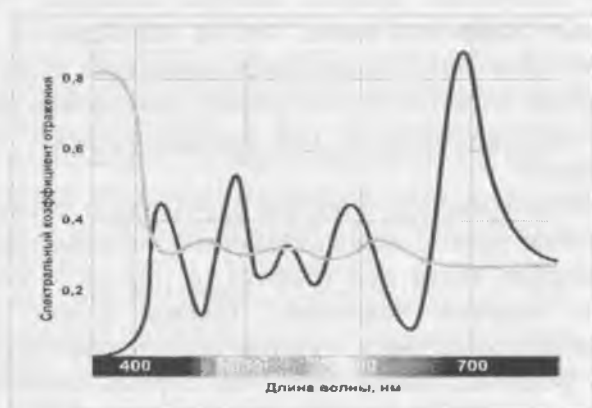


Рис.3.6. Зависимости коэффициента отражения от длины волны.

В данном случае, два существенно разных распределения спектра определяют один и тот же цвет.

Приведём второй пример проблемы спектрального описания цвета. Мы знаем, что лучи каждого участка видимого спектра окрашены для нас в определённый цвет: от синего в районе 400 нм, через голубой, зелёный, жёлтый, оранжевый к красному с длиной волны 650 нм и выше. Жёлтый находится где то в районе 560-585 нм. Но мы можем подобрать такую

смесь красного и зелёного излучений, которая будет восприниматься жёлтой несмотря на полное отсутствие какого либо излучения в «жёлтом» диапазоне 560-585 нм.

Получается, что никакие физические параметры не могут объяснить идентичность цвета в первой и наличие жёлтой окраски лучей во второй ситуации. Странная ситуация? Где мы допустили ошибку?

Проводя эксперимент с измерением спектров, мы предположили что цвет – это свойство излучения, но наши результаты это опровергают, потому что нашлись разные за спектром лучи света, которые воспринимаются как один и тот же цвет. Если бы наше предположение было верным, каждое заметное изменение кривой спектра вызывало бы воспринимаемые изменения цвета, что не наблюдается. Так как сейчас мы ищем способы цветовых измерений, и мы увидели что измерение спектров нельзя назвать измерением цвета, нам нужно искать другие пути, при помощи которых это будет осуществимо.

В действительности, в первом случае было проведено два эксперимента: один с использованием спектрометра, результатом которого были два графика, а другой – визуальное сравнение образцов человеком. Первый способ измеряет спектральный состав света, а второй сопоставляет ощущения в сознании человека. Ввиду того, что первый способ нам не подходит, попробуем задействовать человека для измерения цвета, предположив что цвет – это ощущение, которое испытывает человек при воздействии света на его глаза. Но как измерить ощущения человека, понимая всю сложность и неопределённость этого понятия? Электроды в мозг или энцефалограмму не предлагать, потому что такие методы даже сейчас не дают нужной точности для такого тонкого понятия как цвет. Более того, данная проблема была успешно решена ещё в 20-х годах XX века без наличия большинства нынешних технологий.

Яркость. Первая проблема для решения которой стало необходимо численно выразить зрительные ощущения человека, была задача измерения яркости источников света.

Измерение мощности излучения ламп (именно мощность излучения, в джоулях, или ваттах, а не потребляемая электрическая мощность) не давало ответа на этот вопрос, потому что, во первых, человек не видит излучения с длинами волн меньше 380 и больше 780 нм, и поэтому любое излучение вне этого диапазона не влияет на яркость источника.

Во вторых, как мы уже видели со спектрами, ощущения цвета (и яркости) более сложный процесс чем просто фиксирование характеристик попавшего нам в глаза света: зрение человека более чувствительно к одним зонам спектра, и менее к другим. Например, зелёное излучение намного ярче идентичного по мощности синего. Очевидно, что для решения проблемы численного выражения яркости источников света, нужно количественно определить чувствительность зрительной системы человека для всех отдельных волн спектра, которую потом можно использовать для расчёта вклада каждой длины волны источника в его суммарную яркость. Как и поднятая выше задача с измерением цвета, эта тоже сводится к необходимости измерения ощущения яркости человеком.

Измерить ощущение яркости от излучений каждой длины волны удалось путём визуального сравнения человеком яркостей излучений с известными мощностями. Это довольно просто: управляя интенсивностью излучения, нужно уравнивать яркости двух монохроматических (спектрально максимально узких) потоков, измерив при этом их мощности. Например, чтобы уравнивать по яркости монохроматическое излучение с длиной волны 555 нм мощностью один ватт нужно использовать двухваттное излучения с длиной волны 512 нм. То есть, наша зрительная система вдвое чувствительнее к первому излучению. На практике, для высокой точности результатов был проведён более сложный эксперимент, но это не меняет сути сказанного. Результатом серии таких экспериментов для всего видимого диапазона является кривая спектральной световой эффективности (ещё можно встретить название «кривая видности») (рис. 3.7.).

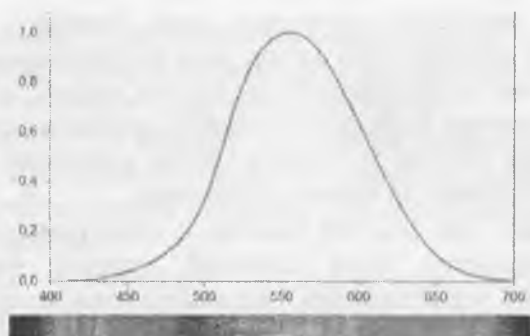


Рис.3.7. Кривая спектральной световой эффективности (ещё можно встретить название «кривая видности»):

по оси X отложены длины волн, по оси Y — относительная чувствительность зрительной системы человека к соответствующей длине волн.

Имея прибор с такой же спектральной чувствительностью, можно с лёгкостью определять на нём яркость нужных световых излучений. Именно под такую кривую тщательно подстраивается чувствительность различных фотометров, люксметров и других приборов, в работе которых важно определение воспринимаемой человеком яркости. Но чувствительность таких приборов всегда является только приближением к кривой спектральной световой эффективности человека и для более точных измерений яркости используют спектральное распределение интересующего источника света.

Спектральное распределение получают разделением излучения на узкие спектральные зоны и измерением мощности каждой из них отдельно. Мы можем рассматривать яркость нашего источника как сумму яркости всех этих спектральных зон, и для этого определим яркость каждого из них (формула для тех, кому не интересно читать мои объяснения на пальцах): умножаем измеренную мощность на соответствующую этой длине волны чувствительность нашей зрительной системы (оси Y и X предыдущего графика соответственно). Просуммировав полученные таким образом яркости всех зон спектра, мы получим яркость нашего первичного излучения в

фотометрических единицах, которые дают точное представление об воспринимаемой яркости тех или иных объектов. Одна из фотометрических единиц входит в Основные единицы СИ – кандела, которая определяется через кривую спектральной световой эффективности, то есть основывается на свойствах зрительной системы человека. Кривая относительной чувствительности зрительной системы человека была принята в качестве международного стандарта в 1924 году Международной комиссией по освещению (в советской литературе можно встретить сокращение МКО), или CIE – Commission Internationale de l'Eclairage.

3.2.2. Система CIE RGB

Но, кривая спектральной световой эффективности даёт нам представление только об яркости светового излучения, а мы можем назвать другие его характеристики, например, насыщенность и цветовой тон, которые при её помощи нельзя выразить. По способу измерения яркости, мы теперь знаем, что «измерять» цвет может только непосредственно человек (не забываем, что цвет – это ощущение) или некая модель его реакции, такая как кривая спектральной световой эффективности, которая позволяет численно выразить ощущения яркости. Предположим, что для измерения цвета, нужно экспериментально при помощи человека создать, по аналогии с кривой световой эффективности, некую систему, которая будет отображать цветовую реакцию зрительной системы на все возможные варианты спектрального распределения света.

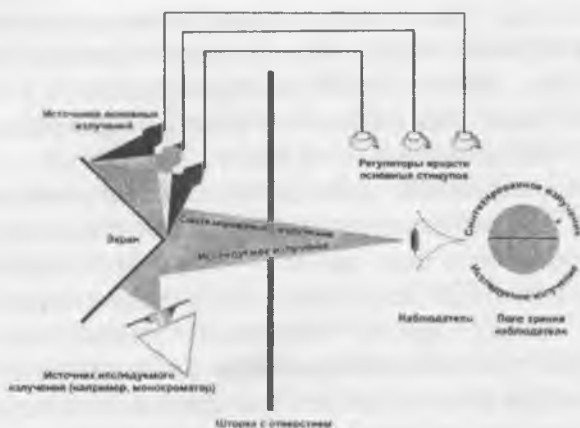
Уже давно известно одно свойство лучей света (на самом деле, это особенность нашей зрительной системы): если смешать два разноцветных излучения, можно получить цвет, который будет совсем не похож на изначальные. Например, направив на белый лист бумаги в одну точку зелёный и красный свет определённых мощностей, можно получить чисто жёлтое пятно без примесей зелёных или красных оттенков. Добавив третье излучение, а к имеющимся двум лучше подойдёт синее (потому что его никак не получить смесью красного и

зелёного), мы получим систему, которая позволит нам получать множество цветов.

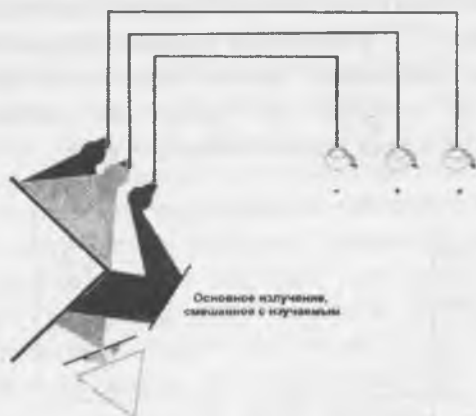
Если визуально уравнивать в таком приборе некое тестовое излучение, мы получим три показателя: интенсивность красного, зелёного и синего излучателей соответственно (как приложенное к лампам напряжение, например). То есть, при помощи нашего прибора (именуемого визуальным колориметром), который воспроизводит цвет, и нашей зрительной системы, нам удалось получить численные значения цвета некоего излучения, к чему мы и стремились. Такие три значения часто именуют координатами цвета, потому что их удобно представить как координаты трёхмерного пространства.

Подобные эксперименты успешно провели в 20-х годах XX века независимо друг от друга учёные Джон Гилд (John Guild) и Дэвид Райт (David Wright). В качестве основных излучений у Райта использовались монохроматические излучения красного, зелёного и синего цветов с длинами волн 650, 530 и 460 нм соответственно, а Гилд использовал более сложные (не монохроматические) излучения. Несмотря на существенные отличия в используемом оборудовании и на то, что данные были усреднены только по 17-ти наблюдателям с нормальным зрением (10 у Райта и 7 у Гилда) итоговые результаты обоих исследователей оказались очень близки друг к другу, что говорит об высокой точности измерений, проведённых учёными. Схематически, процедура измерений изображена на рисунке:

На верхнюю часть экрана проецируется смесь излучений от трёх источников, а на нижнюю – изучаемое излучение, а участник опыта видит их одновременно через отверстие в шторке. Исследователь ставит перед участником задачу уравнивать цвет между полями прибора, и направляет при этом исследуемое излучение на нижнее поле. Участник регулирует мощности трёх излучений пока ему это не удастся, а исследователь записывает показатели интенсивности трёх источников.



В ряде случаев, не удаётся уравнивать определённые монохроматические излучения при таком эксперименте: тестовое поле при любом положении регуляторов трёх излучений остаётся более насыщенным чем используемая смесь. Но, в силу того, что целью эксперимента является получение координат цвета, а не его воспроизведение, исследователи пошли на хитрость: одно основное излучение прибора они смешали не с двумя другими, а направили его на нижнюю часть экрана, то есть смешали его с тестовым излучением:

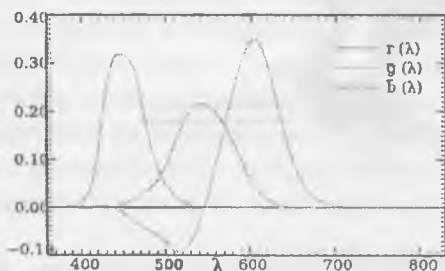


Далее уравнивание проводится как обычно, но количество того излучения, которое смешано с изучаемым, будет считаться

отрицательным. Здесь можно провести аналогию со сменой знака при переносе числа в другую часть обычного уравнения: так как между двумя частями экрана колориметра установлено визуальное равенство, верхнюю его часть можно рассматривать как одну часть уравнения, а нижнюю – как другую.

Оба исследователя провели визуальные измерения всех отдельных монохроматических излучений видимого спектра. Изучая таким способом свойства видимого спектра, учёные предполагали, что их результаты можно будет использовать для описания любых других излучений. Учёные оперировали мощностями трёх независимых излучений и результатом серии таких экспериментов являются три кривые, а не одна как это было сделано при создании кривой световой эффективности.

Для создания удобной и универсальной системы спецификации цвета комитет CIE провели усреднения данных измерений Гилда и Райта пересчитав их данные для тройки основных излучений с длинами волн 700, 546,1 и 435,8 нм (красное, зелёное и синее, red, green, blue – RGB). Зная соотношение яркостей основных излучений такой усреднённой системы, которые нужны для воспроизведения белого цвета (соответственно 1:4.5907:0.0601 для красного, зелёного и синего лучей, что установлено экспериментально с последующим пересчётом) и используя кривую спектральной эффективности, члены CIE рассчитали кривые удельных координат цвета, которые показывают нужное количество трёх основных излучений этой системы для уравнения любого монохроматического излучения мощностью один ватт:



по оси X отложены длины волн, а по оси Y — нужные количества трёх излучений необходимые для воспроизведения цвета, вызываемого соответствующей длиной волны. Негативные участки графиков соответствуют тем монохроматическим излучениям, которые не могут быть воспроизведены тремя используемыми в системе основными излучениями, и для их спецификации нужно прибегать к описанному выше ухищрению при уравнивании.

Для построения подобной системы можно выбрать любые другие три излучения (при этом помня, что никакое из них не должно воспроизводиться смесью двух других), которые дадут нам другие удельные кривые. Выбранные в системе CIE RGB основные излучения воспроизводят большое число излучений спектра, а её удельные кривые получены с большой точностью и стандартизированы.

Кривые удельных координат цвета избавляют от необходимости использовать громоздкий визуальный колориметр, с его медленным методом визуального уравнивания для получения координат цвета при помощи человека, и позволяют рассчитывать их только по спектральному распределению излучения, получить которые довольно быстро и просто при помощи спектрометра. Такой метод возможен, потому что любое излучение можно представить как смесь монохроматических лучей, мощности которых отвечают интенсивности соответствующей зоны спектра этого излучения.

Теперь проверим наши два образца, перед которыми сдалась физика, показывая разные спектры для одноцветных объектов, используя кривые удельных координат: поочерёдно умножим спектральное распределение мощностей отражённого от образцов света на три удельные кривые и просуммируем результаты для каждой из них (как при расчёте яркости из спектрального распределения, но здесь используются три кривые). Результатом будет три числа, R , G и B , которые являют собой координаты цвета в системе CIE RGB, то есть количества трёх излучений этой системы, смесь которых идентична по цвету с измеряемым.

Мы получим три одинаковые показатели RGB для двух наших образцов, что соответствует нашему идентичному ощущению цвета и подтверждает наше предположение что цвет — это ощущение и измерять его можно только при участии нашей зрительной системы, или её модели в виде трёх кривых системы CIE RGB или какой либо другой, удельные координаты которой известны (другую такую систему, базирующейся на других основных цветах, мы рассмотрим детально чуть позже).

Используя колориметр CIE RGB для измерения отражённого от образцов света непосредственно, то есть визуально уравнивая цвет смеси трёх излучений системы с цветом каждого образца, мы получим те же три координаты RGB.

Нужно отметить, что в колориметрических системах принято нормировать количества основных излучений так, чтобы $R=G=B=1$ соответствовало принятому в системе белому цвету. Для системы CIE RGB таким белым цветом принят цвет гипотетического равноэнергетического источника, который излучает равномерно на всех длинах волн видимого спектра. Без такой нормировки, система получается неудобной, потому что яркость синего источника очень мала — 4.5907:0.0601 против зелёного, и на графиках большинство цветов «прилипало» бы к синей оси диаграммы. Введя такую нормировку (соответственно 1:4.5907:0.0601 для красного, зелёного и синего лучей системы) мы перейдём от фотометрических к колориметрическим единицам что сделает такую систему более удобной.

Следует обратить внимание, что система CIE RGB не базируется на какой-либо теории цветового зрения, а кривые удельных координат цвета не являются спектральной чувствительностью трёх видов колбочек сетчатки глаза человека, как они часто ошибочно интерпретируются. Такая система легко обходится без данных про свойства пигментов колбочек сетчатки и без каких-либо данных про сложнейшие процессы обработки зрительной информации в нашем мозгу. Это говорит об исключительной изобретательности и дальновидности учёных, которые создали такую систему, несмотря на

ничтожные сведения про свойства зрительного аппарата человека на то время. Более того, система CIE RGB лежит в основе науки о цвете практически без изменений до сих пор, несмотря на колоссальный прогресс науки за прошедшее время.

Также нужно отметить, что несмотря на то, что монитор для воспроизведения цвета также использует три излучения как и система CIE RGB, три значения цветовых компонент монитора (RGB) не будут строго специфицировать цвет, потому что разные мониторы воспроизводят цвет по разному с довольно большим разбросом, и к тому же, основные излучения мониторов довольно сильно отличаются от основных излучений системы CIE RGB. То есть, не следует воспринимать RGB значения монитора как некий абсолют определения цвета.

Для лучшего понимания, необходимо отметить, что говоря «излучение/источник/длина волны/лампа имеет зелёный цвет» мы на самом деле имеем ввиду что «излучение/источник/длина волны/лампа **вызывает ощущение** зелёного цвета». Излучение видимого диапазона – это только **стимул** для нашей зрительной системы, а цвет – это результат восприятия этого стимула и не следует приписывать цветовые свойства электромагнитным волнам. Например, как в примере выше, никакие волны с жёлтого диапазона спектра не появляются при смешении красных и зелёных монохроматических лучей, но их смесь мы воспринимаем жёлтой.

3.2.3. Нереальные цвета. Система CIE XYZ

В 1931 году в Тринити колледже Кембриджского университета (Великобритания) на очередном заседании CIE система основанная на данных Гилда и Райта была принята в качестве международного стандарта. Также, группа учёных, во главе с американцем Дином Джаддом (Deane B. Judd), чтобы не ждать очередного заседания комитета, которое произойдёт не раньше чем через год, предложила другую систему спецификации цвета, окончательные данные которой были рассчитаны только в ночь перед заседанием. Предложенная система оказалась

настолько удобной и удачной, что она была принята комитетом без каких либо серьёзных обсуждений.

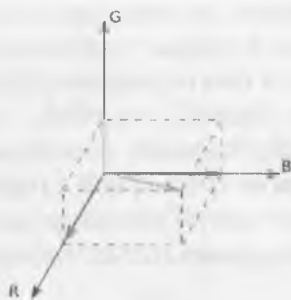
Чтобы понять на основе чего была создана такая система, цвет нужно представить в виде вектора, потому что сложение двух и более цветов подчиняется тем самым правилам, что и сложение векторов (это vyplывает из законов Грассмана). Например, результат смешивания излучения красного цвета с зелёным можно представить как сложение двух векторов с длинами, которые пропорциональны яркости этих излучений:



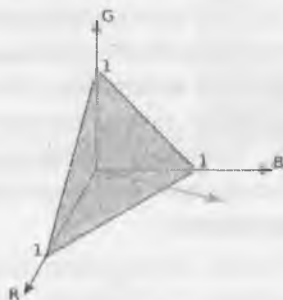
Яркость смеси будет равна длине полученного сложением вектора, а цвет будет зависеть от соотношения яркости используемых излучений. Чем соотношение больше в пользу одного из первичных цветов, тем больше результирующее излучение будет ближе по цвету к этому излучению:



Попробуем подобным образом графически изобразить смешение цветов в используемом для создания системы CIE RGB колориметре. Как помним, в нём используются три излучения красного, зелёного и синего цвета. Никакой цвет этой тройки не получить суммой двух остальных, поэтому представлять все возможные смеси этих излучений нужно будет в трёхмерном пространстве, что не мешает нам использовать векторные свойства сложения цветов при этом:



Не всегда удобно чертить трёхмерные диаграммы, поэтому часто используют упрощённый график, который являет собой проекцию всех нужных цветов на единичную плоскость (выделена синим) трёхмерной схемы:



Результатом такой проекции вектора цвета будет точка на диаграмме, осями которой будут стороны треугольника, которые задаются точками основных цветов системы CIE RGB:

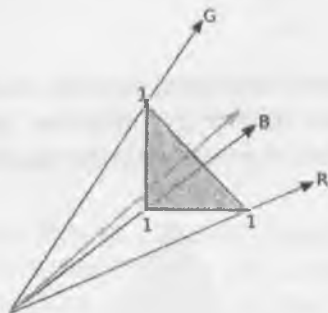


Такая точка будет иметь координаты в системе этого треугольника в виде расстояние от любых двух его сторон (третья координата лишняя, так как в треугольнике любую

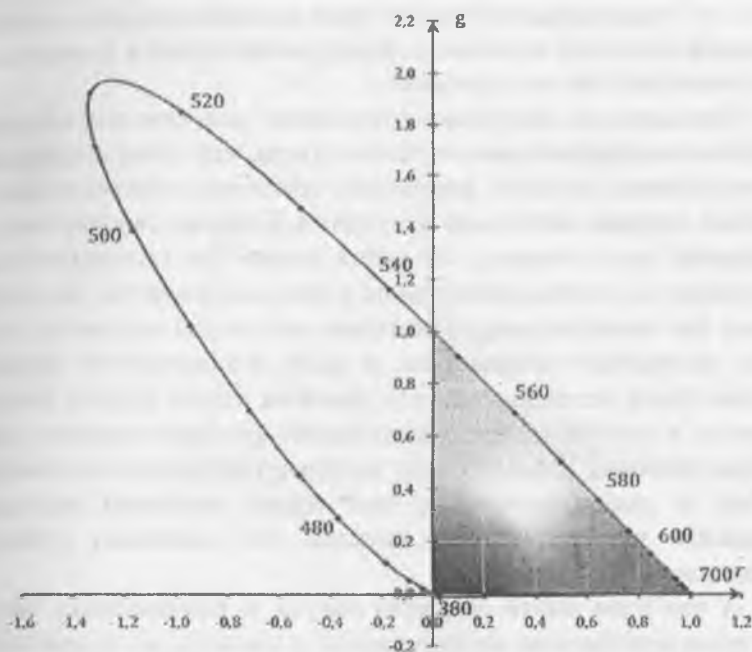
точку можно определить по двум расстояниям от вершин или сторон). Координаты в таком треугольнике называют координатами цветности, и они определяют такие параметры цвета как цветовой тон (синий, голубой, зелёный и т.д.) и насыщенность (серый, бледный, насыщенный и т.п.). В силу того, что мы перешли от трёхмерной к плоской диаграмме, она не позволяет показать третий параметр цвета – яркость, но для многих случаев определение только значения цветности будет достаточно.

Чтобы не путаться, отдельно выделим что координаты **цвета** – это положение конца вектора цвета в трёхмерной системе, и обозначаются они заглавными буквами (RGB, XYZ, например), а координаты **цветности** – это положение точки цвета на плоской диаграмме цветностей, и обозначаются они строчными буквами (rg, xy) и их достаточно двух.

Использование координатной системы в которой между осями нет прямого угла не всегда неудобно, поэтому в колориметрии чаще используют такую систему из трёх векторов, единичная плоскость которой формирует прямоугольный треугольник. Две его стороны возле прямого угла используют как оси диаграммы цветности:



Поместим теперь на такую диаграмму все возможные цветности, пределом которых будет линия спектрально чистых излучений с линией пурпурных цветностей, часто именуемая локусом, которая ограничивает на диаграмме область реальных цветов (красная линия):



Линия пурпурных цветностей лежит между цветностями излучений крайнего синего и красного концов спектра. Пурпурным цветам мы не можем сопоставить никакую зону спектра, как это можно сделать с любым другим цветом, потому что ощущения пурпурного цвета возникает при одновременном действии на нашу зрительную систему синих и красных лучей, а не какого-то одного.

Значительная часть локуса (в зоне 380-546 нм) выходит за пределы треугольника, ограниченного цветностями основных излучений, то есть имеет отрицательные координаты цветности, потому что эту часть спектральных излучений не удалось уравнивать на колориметре CIE. Это соответствует кривым удельных координат цвета, в которых тот самый участок спектра имеет отрицательные координаты (в диапазоне 380-440 нм это невидимые на графике малые значения).

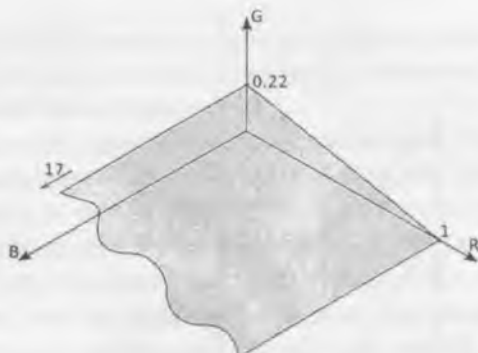
Присутствие отрицательных координат цвета и цветности превращало колориметрические расчёты в непростую задачу: в

20–30-х годах большинство расчётов проводились при помощи логарифмической линейки, а объем вычислений в колориметрических работах немаленький.

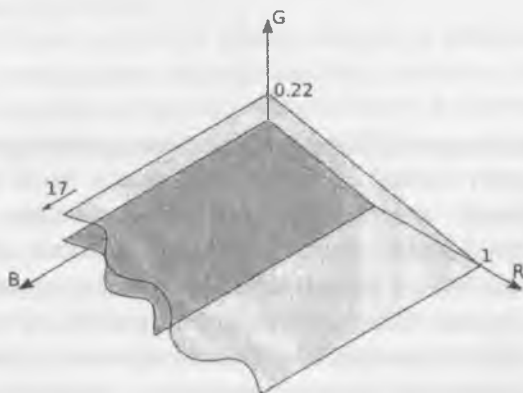
Предыдущая диаграмма показывает нам, что все положительные координаты имеют только цвета, что лежат в пределах треугольника, который формируют цветности используемых в данной системе основных излучений. Если бы локус лежал в середине треугольника, все цвета имели бы положительные координаты, что бы значительно упростило расчёты. Но найти такие три точки на локусе, которые смогли бы включить его в себя полностью невозможно, в силу его выпуклой формы. Позже было установлено, что причина такой формы локуса кроется в особенностях спектральной чувствительности трёх видов колбочек нашего глаза, которые перекрываются между собой и любое излучение возбуждает колбочки, которые отвечают за другую зону спектра, что понижает уровень насыщенности цвета.

А что если выйти за рамки локуса, и использовать цвета, которые невозможно воспроизвести и увидеть, но координаты которых можно с лёгкостью использовать в уравнениях наравне с координатами реальных цветов? Раз мы уже перешли от экспериментов к расчётам, ничто не мешает нам использовать такие нереальные цвета, потому что все свойства смещения цветов сохраняются при этом! Нам подойдут любые три цвета, чей треугольник сможет включить локус реальных цветов, и мы без трудностей сможем начертить множество таких троек нереальных основных цветов (будет целесообразно строить такой треугольник как можно плотнее вокруг локуса, так будет меньше ненужных областей на диаграмме):

Имея такую свободу в выборе точек новых основных цветов, учёные решили извлечь из этого некоторые полезные возможности для новой трёхцветной системы. Например, возможность определять фотометрическую яркость непосредственно при помощи создаваемой системы без дополнительных расчётов или измерений (в системе CIE RGB яркость нужно рассчитывать), то есть объединить её каким-то образом с фотометрическим стандартом 1924 года.

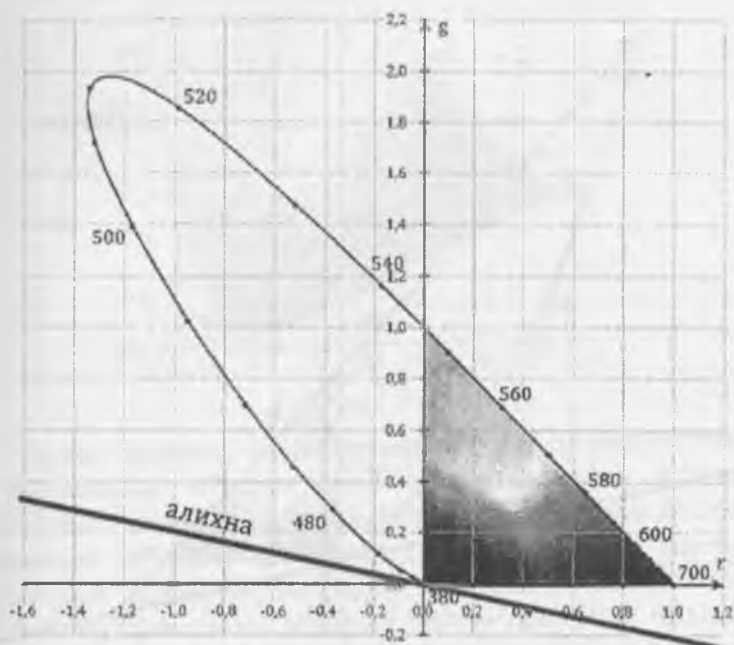


Все цвета, координаты которых находятся на этой плоскости, будут, иметь одинаковую фотометрическую яркость. Если провести параллельную плоскость вдвое ниже предыдущей (0,5:0,11:8,5), мы получим место положение цветов с вдвое меньшей яркостью:



Аналогично, ниже можно провести новую параллельную плоскость, которая пересечёт начало координат, на которой разместятся все цвета с нулевой яркостью, а ещё ниже можно начертить даже плоскости отрицательных яркостей. Это может показаться абсурдным, но вспомним, что работаем с математическим представлением трёхцветной системы, где в уравнениях всё это возможно, чем мы и воспользуемся.

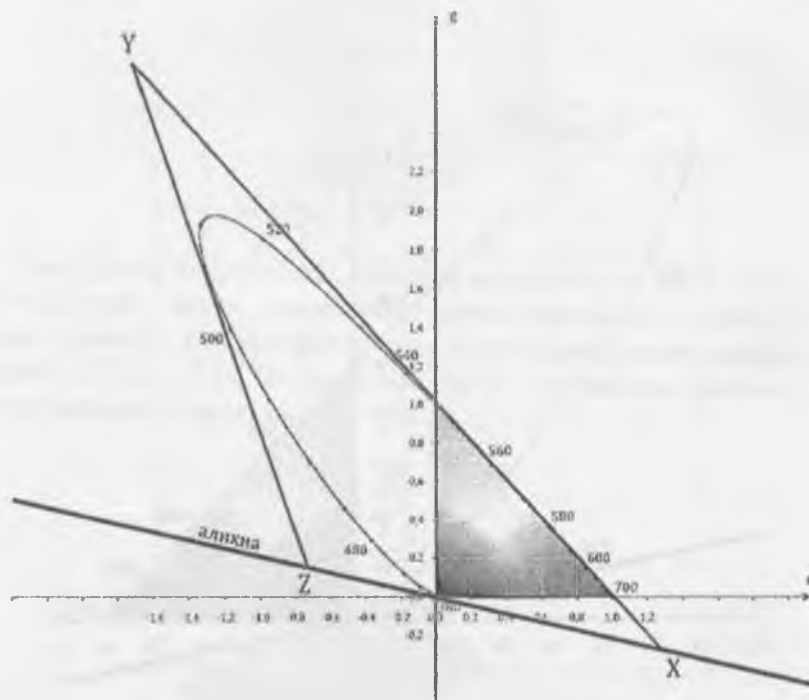
Перейдём обратно на плоскую диаграмму rg , спроектировав на неё плоскость нулевых яркостей. Проекцией будет линия нулевой яркости — алихна, которая пересекает начало координат:



На алихне лежат цветности, которые не имеют яркости, и если использовать размещённый на ней цвет в цветовом уравнивании (не реальным, со смешиванием световых потоков, а в уравнениях, где такие цвета возможны), он не будет влиять на яркость полученной смеси. Если разместить на алихне два цвета трёхцветной системы, то яркость всей смеси будем определяться только одним оставшимся цветом.

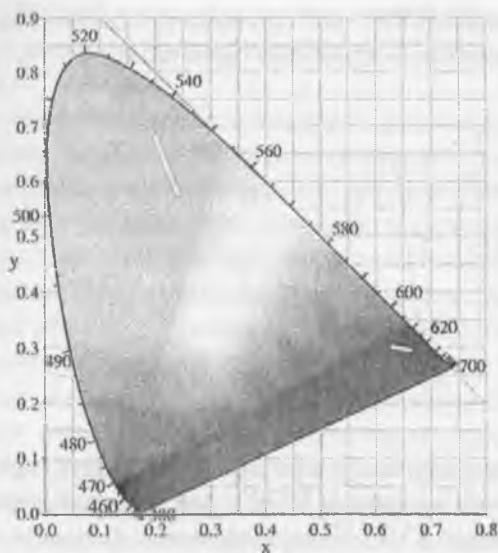
Напомним, что мы ищем цветовые координаты таких трёх гипотетических цветов, которые смогут уравнивать цвета всех реальных излучений без использования отрицательных значений (треугольник должен включать в себя весь локус) и при этом, новая система будет включать в себя фотометрический

стандарт яркости непосредственно. Разместив два цвета на алихне (названные X и Z), а третий выше локуса (Y), мы решим обе проблемы:



Локус реальных цветов находится полностью в треугольнике, который ограничен тремя выбранными цветами, а яркость полностью перешла к одному из трёх компонент системы – Y. В зависимости от нормировки величин и характера измерений, координата Y может выражать яркость непосредственно в канделах на м^2 , процент от максимальной яркости какой то системы (дисплея, например), процент пропускания (прозрачные образцы, слайды например) или яркость относительно некоторого эталона (при измерениях отражающих образцов)

Преобразовав полученный треугольник в прямоугольный, мы получим знакомую многим диаграмму цветности ху:

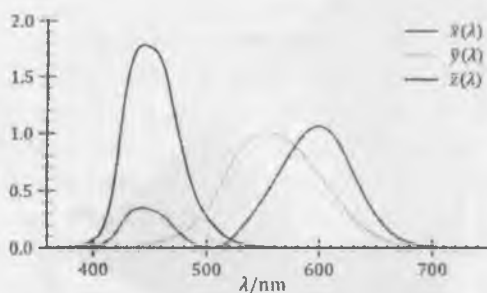


Нужно помнить, что диаграмма xy – это проекция системы с основными точками XYZ на единичную плоскость, аналогично так диаграмма rg и система RGB . Данная диаграмма позволяет в удобной форме иллюстрировать цветности различных излучений, например, цветовые охваты различных устройств. Диаграмма обладает одним полезным свойством: координаты цветности смеси двух излучений будут находится строго на линии, которая соединяет точки этих двух излучений на диаграмме. Поэтому, цветовой охват монитора, например, на такой диаграмме будет являть собой треугольник.

Диаграмма xy имеет также один недостаток, который следует помнить: равные отрезки на разных участках диаграммы не означают одинаковую воспринимаемую разницу в цвете. Это проиллюстрировано двумя белыми отрезками на предыдущем рисунке. Длины этих отрезков соответствуют ощущению одинаковой разницы цветности, но при этом отрезки различаются по длине в три раза.

Рассчитаем кривые удельных координат цвета полученной системы, которые показывают нужное количество трёх

основных цветов XYZ для уравнивания любого монохроматического излучения мощностью один ватт:



Видим, что в кривых отсутствуют отрицательные участки (что наблюдалось в системе RGB), что и было одной из целей создания системы XYZ. Также, кривая y (игрек с чёрточкой сверху) полностью совпадает с кривой спектральной световой эффективности зрения человека (про неё говорилось выше при объяснении определения яркости световых излучений), поэтому величина Y определяет яркость цвета непосредственно — она рассчитывается идентичным образом как и фотометрическая яркость по той же кривой. Это достигнуто путём размещения двух других цветов системы на плоскости нулевых яркостей. Поэтому, колориметрический стандарт 1931 года включает в себя фотометрический стандарт 1924 года, что позволяет обойтись без лишних расчётов или измерений.

Эти три кривые определяют Стандартного колориметрического наблюдателя — стандарт, который используют при колориметрической интерпретации спектральных измерений и он лежит в основе всей науке о цвете практически без изменений до сих пор. Хотя визуальный колориметр XYZ не может существовать физически, его свойства позволяют с высокой точностью проводить цветовые измерения и он помогает многим отраслям предсказуемо воспроизводить и передавать информацию о цвете. На системе XYZ базируется всё дальнейшие достижения науке о цвете, например знакомая многим система CIE $L^*a^*b^*$ и ей подобные, а также новейшие

системы СИЕСАМ, которые используют современные программы построения цветовых профилей.

Выводы:

1. Точная работа с цветом требует его измерения, которое также необходимо как и измерение длины или веса.

2. Измерение воспринимаемой яркости (одного из атрибутов зрительного ощущения) световых излучений невозможно без учёта особенностей нашей зрительной системы, которые были успешно исследованы и заложены во все фотометрические величины (кандела, люмен, люкс) в виде кривой её спектральной чувствительности.

3. Простое измерение спектра исследуемого света само по себе не даёт ответа на вопрос о его цвете, потому что легко можно найти разные спектры которые воспринимаются как один цвет. Разные величины, которые выражают один и тот же параметр (цвет, в нашем случае), говорят о несостоятельности такого метода определения.

4. Цвет — это результат восприятия света (цветового стимула) в нашем сознании, а не физическое свойство этого излучения, поэтому измерять каким-то образом нужно это ощущение. Но прямое измерение ощущений человека невозможно (или было невозможным на момент создания описанных здесь колориметрических систем).

5. Эту проблему обошли путём визуального (при участии человека) уравнивания цвета исследуемого излучения при помощи смешения трёх излучений, количества которых в смеси и будут искомым численным выражением цвета. Одной из систем таких трёх излучений есть CIE RGB.

6. Экспериментально уравнивая при помощи такой системы все монохроматические излучения по отдельности, получают (после некоторых расчётов) удельные координаты этой системы, которые показывают нужные количества её излучений для уравнивания цвета любого монохроматического излучения мощностью один ватт.

7. Зная удельные координаты, можно рассчитать координаты цвета исследуемого излучения по его спектральному составу без визуального уравнивания цвета человеком.

8. Система CIE XYZ создана путём математических трансформаций системы CIE RGB и базируется на тех же принципах – любой цвет можно точно специфицировать количеством трёх излучений, смесь которых воспринимается человеком идентичной по цвету. Основное отличие системы XYZ – цвет её основных «излучений» существует только в колориметрических уравнениях, и получить их физически невозможно.

9. Основная причина создания системы XYZ – облегчения расчётов. Координаты цвета и цветности всех возможных световых излучений будут положительными. Также, координата цвета Y выражает фотометрическую яркость стимула непосредственно.

3.2.4. Двенадцатичастный цветовой круг

Для введения в систему цветового конструирования создается двенадцатичастный цветовой круг, опираясь на основные цвета – желтый, красный и синий (рис. 3.8).



Рис.3.8. Двенадцатичастный цветовой круг.

Как известно, человек с нормальным зрением может определить красный цвет, не имеющий ни синеватого, ни желтоватого оттенка, желтый - не имеющий ни зеленоватого, ни красноватого, и синий, не имеющий ни зеленоватого, ни красноватого оттенка. При этом, изучая каждый цвет, следует рассматривать его на нейтральном сером фоне.

Основные цвета должны быть определены с максимальной возможной точностью.

Три основных цвета первого порядка размещаются в равностороннем треугольнике так, чтобы желтый был у вершины, красный - справа внизу и синий - внизу слева. Затем данный треугольник вписывается в круг и на его основе выстраивается равносторонний шестиугольник. В образовавшиеся равнобедренные треугольники мы помещаем три смешанных цвета, каждый из которых состоит из двух основных цветов, и получаем, таким образом, цвета второго порядка:

- желтый + красный = оранжевый;
- желтый + синий = зеленый;
- красный + синий = фиолетовый.

Все цвета второго порядка должны быть смешаны весьма тщательно. Они не должны склоняться ни к одному из своих компонентов. Запомните, что это не легкая задача - получить составные цвета посредством их смешения. Оранжевый цвет не должен быть ни слишком красным, ни слишком желтым, а фиолетовый - ни слишком красным и ни слишком синим.

Затем на некотором расстоянии от первого круга мы чертим другой и делим полученное между ними кольцо на двенадцать равных частей, размещая основные и составные цвета по месту их расположения и оставляя при этом между каждыми двумя цветами пустой сектор.

В эти пустые сектора вводим цвета третьего порядка, каждый из которых создается благодаря смешению цветов первого и второго порядка, и получаем:

- желтый + оранжевый = желто-оранжевый;
- красный + оранжевый = красно-оранжевый;
- красный + фиолетовый = красно-фиолетовый;
- синий + фиолетовый = сине-фиолетовый;

- синий + зеленый = сине-зеленый;
- желтый + зеленый = желто-зеленый.

Таким образом, возникает правильный цветовой круг из двенадцати цветов, в котором каждый цвет имеет свое неизменное место, а их последовательность имеет тот же порядок, что в радуге или в естественном спектре (рис. 3.8).

Исаак Ньютон в свое время получил этот замкнутый цветовой круг, в который он добавил к спектральным цветам отсутствующий пурпурный цвет, что усилило общую его конструктивность.

В нашем круге все двенадцать цветов имеют равные отрезки, поэтому цвета, занимающие диаметрально противоположные места по отношению друг другу, оказываются дополнительными.

Эта система дает возможность мгновенно и точно представить себе все двенадцать цветов и легко расположить между ними все их вариации.

Мне кажется, что для художников было бы пустой потерей времени заниматься составлением цветового круга из 24-х или 100 цветов. Да и какой же художник может без посторонней помощи отчетливо представить себе, например, 83-ю градацию цветового круга, разделенного на 100 частей?

Поскольку наши представления о цвете не отличаются особой точностью, обсуждать этот вопрос бесполезно. И необходимо просто видеть двенадцать цветов с той же определенностью, с какой музыкант слышит двенадцать тонов своей гаммы.

Делакруа прикрепил к одной из стен своей мастерской цветовой круг, на котором около каждого цвета были даны все сочетания, возможные с данным цветом. Импрессионисты, Сезанн, Ван Гог, Синьяк, Сёра и другие художники ценили Делакруа как выдающегося колориста. И именно Делакруа, а не Сезанн считается основателем конструирования произведений на основе логически объективных цветовых законов, позволяющих достичь тем самым более высокой степени порядка и правды.

3.3. Семь типов цветовых контрастов

Мы говорим о контрастах, когда, сравнивая между собой два цвета, находим между ними четко выраженные различия. Когда эти различия достигают своего предела, мы говорим о диаметрально или полярном контрасте. Так, противопоставления большой - маленький, белый - черный, холодный - теплый в своих крайних проявлениях представляют собой полярные контрасты. Наши органы чувств функционируют только посредством сравнений. Глаз воспринимает линию как длинную только в том случае, если для сравнения перед ним имеется более короткая, но та же линия воспринимается короткой при сравнении с более длинной. Подобным же образом впечатления от цвета могут быть усилены или ослаблены с помощью других контрастных цветов.

Изучая характерные способы воздействия цвета, мы можем констатировать наличие семи видов контрастных проявлений. Они настолько различны по своим основам, что каждый из них должен быть изучен отдельно. Каждый из контрастов по своему особому характеру и художественной значимости, зрительному, экспрессивному и конструктивному действию столь своеобразен и единствен в своем роде, что благодаря им мы можем открыть для себя все основные художественные возможности цвета.

Гёте, Бецольд, Шеврель и Хельцель указывали на смысловое значение различных цветовых контрастов. Шеврель посвятил огромный труд «симультаным контрастам». Однако наглядного и снабженного соответствующими упражнениями практического введения в изучение своеобразного проявления цветовых контрастов до настоящего времени не существует. Предпринятое в данной книге исследование цветовых контрастов является существенной частью моего труда о цвете.

Начнем с перечисления семи типов цветовых контрастов:

1. Контраст по цвету.
2. Контраст светлого и темного.
3. Контраст холодного и теплого.
4. Контраст дополнительных цветов.

5. Симультанный контраст.
6. Контраст по насыщенности.
7. Контраст по площади цветowych пятен.

3.3.1. Контраст по цвету

Контраст по цвету – самый простой из всех семи. Он не предъявляет больших требований к цветовому видению, потому что его можно продемонстрировать с помощью всех чистых цветов в их предельной насыщенности.

Так же как черный и белый цвета образуют самый сильный контраст светлого и темного, так и желтый, красный и синий цвет обладают наиболее сильно выраженным контрастом по цвету (рис. 3.9). Для того чтобы убедиться в этом, нужно, по крайней мере, три чистых и достаточно удаленных друг от друга цвета. Данный контраст создает впечатление пестроты, силы, решительности. Интенсивность контраста по цвету всегда уменьшается по мере того, как выбранные нами цвета удаляются от основных трех. Так, оранжевый, зеленый и фиолетовый по своей контрастности уже гораздо слабее, чем желтый, красный и синий, а воздействие цветов третьего порядка еще менее явно.

Когда каждый цвет отделен друг от друга черными или белыми линиями, то их индивидуальный характер становится выраженным более резко, а взаимные излучения и взаимные влияния тем самым уменьшаются. Каждый цвет в этом случае проявляет, прежде всего, свою реальную конкретность. Хотя основная группа трех цветов желтого, красного и синего представляет собой самый большой контраст по цвету, однако и все другие чистые цвета несомненно могут быть представлены в ряду сильных контрастов (рис. 3.10).

Контраст по цвету позволяет, осветляя и затемняя выбранные цвета, получить множество совершенно различных сочетаний (рис. 3.11). Число вариаций здесь очень велико и в соответствии с этим столь же бесконечно число их выразительных возможностей. Включение белого и черного цвета в палитру зависит от темы и индивидуальных предпочтений

художника. Белый цвет ослабляет прилегающие к нему цвета и делает их более темными, черный, наоборот, усиливает и делает их более светлыми. Поэтому черный и белый являются важными элементами цветовых композиций (рис. 3.9а).



Рис. 3.9.



Рис. 3.9а.



Рис. 3.10.



Рис. 3.11.



Рис. 3.12.

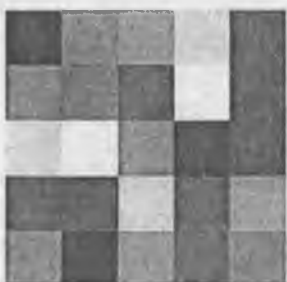


Рис. 3.13.



Рис. 3.14.

Эти упражнения можно было бы выполнять, используя также и произвольно выбранные цветовые пятна. Однако в этом есть большая опасность. Вместо того чтобы изучать собственно силу и напряжение цветовых сочетаний, выполняющие эти упражнения начинают увлекаться формами и рисовать

пятнами. Подобное рисование в этом случае становится врагом всякой живописности. Этого безусловно нужно избегать. И простые полосы или сетка шахматной доски здесь наиболее уместны.

В упражнении, показанном на рисунке 3.12, ставилась задача так расположить заданное количество желтых, красных, синих, белых и черных квадратов в горизонтальном и вертикальном направлениях, чтобы предельно усилить ощущение цветовой напряженности.

Композиция рисунка 3.13 состоит из локальных цветов максимальной чистоты, а также их осветленных и затемненных градаций и включенных сюда белого и черного цвета. Когда система цветовых сочетаний, показанных на рисунке 3.10, окажется усвоенной, можно быстро подобрать цвета для упражнений рисунка 3.14.

Очень интересные результаты получаются, если одному из цветов отводится главная роль, а остальные используются в небольших количествах – лишь для того, чтобы подчеркнуть качества главного цвета. Подчеркивая какой-то один цвет, мы усиливаем общую выразительность работы. После каждого схематического упражнения рекомендуется давать задания на выполнение свободных композиций в соответствии с характером данного контраста.

3.3.2. Контраст светлого и темного

Число различимых глазом оттенков серого цвета зависит от чувствительности глаза и предела восприятия зрителя. Этот предел может быть снижен путем практических упражнений, и тем самым число различимых глазом постепенных переходов будет увеличено. Единообразный серый цвет, его безжизненная поверхность может обрести таинственную активность с помощью тончайших модуляций тени. Эта возможность имеет громадное значение для живописцев и проектировщиков, требуя от них чрезвычайной чувствительности к тональным различиям.

Нейтральный серый цвет представляет собой лишенный характера, безразличный ахроматический цвет, легко изменяющийся под воздействием контрастирующих цветов. Он нем, но легко возбуждается и дает великолепные оттенки. Любой цвет немедленно может вывести серый из нейтрального ахроматического тона в цветовой ряд, придав ему тот оттенок, который является дополнительным по отношению к цвету, пробудившему его. Это превращение происходит субъективно в наших глазах, а не объективно в самом цвете. Серый цвет — это бесплодный, нейтральный цвет, жизнь и характер которого находится в зависимости от соседствующих с ним цветов. Он смягчает их силу или делает их более интенсивными. В качестве нейтрального посредника он примиряет между собой яркие противоположности, одновременно поглощая их силу и тем самым, подобно вампиру, обретая собственную жизнь. На этом основании Делакура отвергал серый цвет как отнимающий силу других цветов.

Серый цвет может быть получен при смешении черного и белого или желтого, красного, синего и белого, или любой другой пары дополнительных цветов.

Вначале мы выстроим последовательный двенадцатиступенчатый ряд серых тонов, начиная от белого до черного. Очень важно, чтобы ступени были выстроены строго в одинаковой степени затемнения. Серый цвет среднего тона должен быть расположен в центре шкалы, а каждая ступень быть абсолютно одноцветной и свободной от пятен, причем между ступенями не должно быть ни светлой, ни темной линии. Подобная шкала может быть изготовлена для любого хроматического цвета. Если мы возьмем тональный ряд синего цвета, то синий затемняется черным до сине-черного и освещается белым до сине-белого цвета.

Эти упражнения имеют целью развить чувствительность к цветовым оттенкам. Двенадцать тонов в искусстве это не то, что система «хорошо темперированного клавира» в музыке. В искусстве цвета важными выразительными средствами могут оказаться не только определенные интервалы, но и незаметные переходы, подобные «глиссандо» в музыке.

Нижеследующие упражнения предназначены для углубленного понимания контраста светлого и темного. Так, выбрав несколько серых тонов из их общей шкалы, необходимо создать единую композицию, соединив их между собой в любом порядке.

Выполнив четыре-шесть подобных композиций и сравнив их между собой, находим самое удачное решение. Студенты быстро понимают, что значит хорошо скомпонованные, убедительные решения и плохие, неустойчивые. Этим весьма простым упражнением у них выявляется способность владеть искусством контраста светлого и темного.

На рисунке 3.15 показано развитие композиции из светлых и темных тонов, расположенных в шахматном порядке. Данная композиция может быть решена в более светлых или более темных тонах. Задача упражнения заключается в том, чтобы воспитать видение и ощущение градаций светлого и темного и их контраста.



Рис. 3.15.



Рис. 3.16.

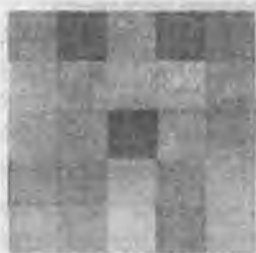


Рис. 3.17.



Рис. 3.18.

Овладев проблемами тональных соотношений белого, серого и черного, можно перейти к изучению контрастов, основанных на пропорциональных и количественных соотношениях цветов. Контраст пропорций — это противопоставление большого — маленькому, длинного — короткому, широкого — узкому, толстого — тонкому. Для того чтобы освоить это, нужно выполнить упражнения на пропорциональные соотношения светлого и темного, которые развивают не только чувство пропорций, но и восприятие позитивных — темных и негативных — белых, остаточных форм.

До сих пор мы изучали контраст светлого и темного только в области черно-бело-серых тонов. Вместе с тем чрезвычайно важно научиться различать, насколько один цвет светлее или темнее другого. Развить эту способность можно благодаря следующим трем упражнениям. На разграфленном, подобно шахматной доске, листе бумаги одна из клеток заполняется желтой, красной или синей краской. Задача состоит в том, чтобы к каждому из этих цветов подобрать столь же светлые или столь же темные цвета. При этом необходимо следить за тем, чтобы в каждом упражнении были использованы соответственно желтоватые, синеватые или красноватые цвета. Также не следует путать насыщенность или чистоту цвета с его светлотой. Задание, суть которого в том, чтобы написать все цвета столь же светлыми, как и желтый, весьма трудно, потому что тот факт, что желтый цвет очень светел, познается не сразу (рис. 3.17). Другая трудность возникает также тогда, когда желтый цвет должен быть показан столь же темным, как красный и синий. Светлый желтый цвет при затемнении поневоле теряет свой характер. Поэтому многие художники испытывают естественное желание не затемнять его. На рисунке 3.18 даны все цвета в той же степени затемненности, как и синий в центре.

Особые затруднения вызывают холодные и теплые цвета. Холодные цвета производят впечатление прозрачности и легкости и в большинстве случаев используются слишком светлыми, в то время как теплые цвета, благодаря их непрозрачности, используются слишком темными.

Одинаковая светлота или одинаковая темнота делают цвета как бы родственными. Благодаря одинаковой тональности они становятся как бы связанными и объединенными между собой. Сам этот факт и его возможности как художественного средства недооценивать нельзя.

Особенно сложны проблемы светлого и темного в хроматических цветах и в их отношении к ахроматическим цветам — черному, белому и серому.



Рис. 3.19.



Рис. 3.20.



Рис. 3.21.



Рис. 3.22.

На цветовом шаре (рис. 3.21, 3.22) представлены как хроматические цвета цветового круга, состоящего из двенадцати частей, так и ахроматические. В противоположность живой вибрации многообразия хроматических цветов, ахроматические производят впечатление жесткости, недоступности и абстрактности. Однако, с помощью хроматических цветов в

цветах ахроматических можно пробудить трепетную жизнь.



Рис. 3.23.



Рис. 3.24.



Рис. 3.25.



Рис. 3.26.

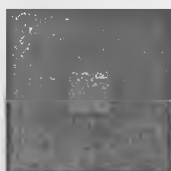


Рис. 3.27.



Рис. 3.28.



Рис. 3.29.

На рисунках 3.23- 3.28 мы видим, как ахроматический серый настолько находится под влиянием соседнего цвета, что начинает казаться дополнительным к нему. Когда в композиции участвуют и граничат друг с другом хроматические и ахроматические цвета одной светлоты, то последние теряют свой нейтральный характер. Если художник хочет, чтобы ахроматические цвета сохраняли свой характер, он вынужден осветлять или затемнять хроматические цвета. Если в цветовой композиции белые, серые и черные цвета используются в качестве средства создания абстрактного впечатления, то в этой композиции не должно быть хроматических цветов той же светлоты, ибо в противном случае в результате симультанного контраста серый цвет будет производить впечатление хроматического цвета. Если в цветовой композиции серый цвет

используется в качестве живописного компонента, то он должен быть той же светлоты, что и хроматические цвета.

В то время как импрессионисты стремились к живописному воздействию серых тонов, сторонники конструктивной и реалистической живописи относились к черному, белому и серому цвету как к средству абстрактного воздействия.



Рис. 3.30.

Проблемы цветовых контрастов светлого и темного легко могут быть разрешены с помощью упражнения, представленного на рисунке 3.30. К двенадцатичастным градиациям серого тона в его переходах от белого к черному мы добавляем двенадцать чистых цветов цветового круга, соответствующих по своей светлоте градиациям серого цвета. И видим, что чистый желтый цвет соответствует третьей ступени серого цвета, оранжевый — пятой, красный — шестой, синий — восьмой, а фиолетовый — десятой. Таблица показывает, что насыщенный желтый цвет является самым светлым из чистых цветов, а фиолетовый — самым темным. Так что желтый цвет, чтобы

совпасть с темными тонами серой шкалы, должен приглушаться, начиная уже с четвертой ступени. Чистый красный и синий цвет расположены более глубоко, на расстоянии всего нескольких ступеней от черного и далеко от белого. Каждая примесь черного или белого уменьшает их насыщенность.

Если мы подготовим таблицу с последовательностью в восемнадцать ступеней вместо двенадцати и соединим между собой цвета максимальной чистоты, то увидим, что кривая будет иметь форму параболы. Тот факт, что насыщенные, чистые цвета отличаются между собой по светлоте, как это показано на рисунке 3.30, чрезвычайно важен. Нам следует усвоить, что чистый, насыщенный желтый цвет весьма светел и что такой субстанции как темный желтый цвет не существует. Насыщенный, сугубо синий цвет очень темен, а светлые синие — блеклые и ослабленные. Только достаточно темный красный цвет может излучать свою силу, а осветленный до уровня чистого желтого теряет ее. Колорист обязательно должен учитывать это в своих композициях. Когда живописцу требуется, чтобы насыщенный желтый создавал максимальное впечатление, то вся композиция должна носить светлый характер, в то время как насыщенный красный или синий требуют общего темного решения композиции. Светящийся красный на картинах Рембрандта так выразительно сияет лишь благодаря контрасту с более темными цветами. Когда Рембрандт хочет добиться сияния желтого, то погружает его в относительно светлый цветовой ряд. В то время как насыщенный красный в этом окружении начинает производить впечатление просто чего-то темного и теряет свою звучность.

Различия цветов по их светлоте ставит особо трудные задачи перед художниками, работающими с текстилем. Известно, что текстильный проект решается сразу в четырех или большем количестве колористических вариантов, которые в коллекции должны обладать определенным цветовым единством. Основное правило заключается здесь в том, чтобы каждый колористический вариант рисунка имел одну и ту же систему контрастных соотношений, как на рисунках 3.15 и 3.16.

Если в основном проекте имеется чистый красный цвет, то в остальных колористических вариантах не окажется достаточно чистых цветов, имеющих ту же степень светлоты, какой обладает красный. Но при этом соотношения между тональными градациями во всех вариантах должны быть одинаковыми. Если красный цвет будет заменен оранжевым, то вся цветовая композиция должна быть перестроена в соответствии со ступенями тональной градации этого цвета. И в этом случае ткань с оранжевым рисунком будет в целом светлее, чем ткань в красном варианте. Если бы мы захотели приравнять оранжевый цвет к степеням градации красного, то чистому красному соответствовал бы лишенный всякой чистоты коричнево-оранжевый цвет.

Большая трудность заключается в том, что отношения светлоты и темноты чистых цветов меняются в зависимости от интенсивности освещения. Красный, оранжевый и желтый кажутся более темными при недостаточно ярком свете, в то время как зеленый и синий в этих условиях воспринимаются более светлыми. Цвета и их отношения идеально проявляют себя только при ярком дневном свете, а в сумерках оказываются искаженными. Картины, написанные для алтаря и рассчитанные на полутьму церкви, не следует выставлять в ярком искусственном свете, ибо такое освещение исказит все световые соотношения цветов.

Я бы хотел подчеркнуть, что для живописца насыщенный желтый цвет не содержит ни белого, ни черного цвета, их нет и в чистых оранжевом, красном, синем, фиолетовом и зеленом. Когда живописец говорит о разбеленном или зачерненном красном цвете, то имеет в виду его нечистый, блеклый характер. Техническое значение смеси с черным и белым имеет другой смысл.

Картина, написанная на контрасте светлого и темного, может быть выдержана в двух, трех или четырех основных тональностях. Художник работает, как говорится, двумя, тремя, четырьмя красками, заботясь при этом, чтобы основные группы были хорошо согласованы друг с другом. Каждый из планов может иметь небольшие тональные различия, которые не

должны стирать различий между главными группами. Для соблюдения этого правила важно иметь глаз, воспринимающий цвета равной светлоты. Если главные тональные группы или планы не соблюдать, то композиция теряет организованность, ясность и силу.

Главная причина, которая заставляет художника работать планами, заключается в необходимости сохранить в картине ее общую плоскостность. Благодаря упорядоченности планов можно сгладить и обезопасить все нежелательные проявления глубины. Развитие пространства внутрь может быть прекращено за счет соотношенности всех тональных отношений с тональностью планов. Обычно планы делятся на передний, средний и задний. Но необязательно чтобы главные фигуры непременно находились на переднем плане. Передний план может быть совершенно пустым, а главное действие развертываться на среднем плане.

Изобразительные возможности принципа контраста светлого и темного можно продемонстрировать на примерах картины Франсиско Сурбарана (1598-1664) «Лимоны, апельсины и розы», Флоренция, собрание А.Контини-Бонакossi; картины Рембрандта «Мужчина с золотым шлемом», Берлин, Картинная галерея, и картины Пабло Пикассо «Гитара на камине», 1915.

3.3.3. Контраст холодного и теплого

На первый взгляд может показаться странным отождествлять ощущение температуры со зрительным восприятием цвета. Однако опыты показали разницу в 3-4 градуса в субъективном ощущении тепла или холода в мастерских, окрашенных в сине-зеленый цвет, и мастерских, окрашенных в красно-оранжевый. В сине-зеленом помещении рабочие жаловались на холод при температуре 15 С, в то время как в красно-оранжевом помещении они начинали жаловаться на холод лишь при температуре 11-12° С. Научные исследования показали, что сине-зеленый цвет понижает импульс кровообращения, в то время как красно-оранжевый его стимулирует. Подобные же

результаты были получены при опытах с животными. Конюшня беговых лошадей была разделена на две части, одна из которых была выкрашена в синий цвет, другая - в красно-оранжевый. В синем отсеке лошади быстро успокаивались после скачек, а в красном, наоборот, долго приходили в себя и не остывали. Кроме того, в синем отсеке не было мух, в то время как в красном их было множество. Оба опыта показывают особую значимость контраста теплого и холодного для цветовых решений. В больницах, где применяется цветовая терапия, свойства холодных и теплых цветов играют весьма важную роль.

Возвращаясь к цветовому кругу, мы видим, что желтый цвет — самый светлый, а фиолетовый — самый темный. Это значит, что эти два цвета образуют самый сильный контраст света и темноты. Под прямым углом к оси «желтый – фиолетовый» расположены «красно-оранжевый» и «сине-зеленый», которые являются двумя полюсами контраста холода и тепла. Красно-оранжевый, или сурик — самый теплейший, а сине-зеленый, или окись марганца — самый холодный цвет. Обычно желтый, желто-оранжевый, оранжевый, красно-оранжевый, красный и красно-фиолетовый принято называть теплыми цветами, а желто-зеленый, зеленый, сине-зеленый, синий, сине-фиолетовый и фиолетовый — холодными, но подобная классификация легко может ввести нас в заблуждение. Совершенно так же, как полярности белого и черного представляют собой самый светлый и самый темный цвет, а все серые тона только относительно светлы или темны в зависимости оттого, контрастируют ли они с более темными или светлыми тонами, так и сине-зеленый и красно-оранжевый как полярности холода и тепла всегда холодные и теплые, в то время как промежуточные цвета, расположенные между ними, могут быть холодными или теплыми только в зависимости оттого, контрастируют ли они с более теплыми или холодными цветами. Характер холодных и теплых цветов можно было бы представить в таких сопоставлениях:

- холодный – теплый;
- теневой – солнечный;

- прозрачный – непрозрачный;
- успокаивающий – возбуждающий;
- жидкий – густой;
- воздушный – земной;
- далекий – близкий;
- легкий – тяжелый;
- влажный – сухой.

Эти различные способы проявления контраста холода и тепла говорят о его огромных выразительных возможностях, позволяющих добиться большой живописности и особой музыкальности общей атмосферы произведения.

В природе более удаленные предметы в силу отделяющего их от нас воздушного слоя всегда кажутся более холодными. Контраст холодного и теплого обладает также свойством влиять на ощущение приближенности и удаленности изображения. И это качество делает его важнейшим изобразительным средством в передаче перспективы и пластических ощущений.

Если необходимо создать композицию, проработанную и строго выдержанную с точки зрения определенного контраста, то все остальные контрастные проявления должны стать второстепенными или вообще не использоваться.

Контраст холодного и теплого в его полярном противопоставлении красно-оранжевого сине-зеленому демонстрирует рисунок 3.31, а рисунок 3.32 показывает тот же контраст, но с измененной площадью, занимаемой каждым цветом. На рисунках 3.33 и 3.34 один и тот же фиолетовый цвет, находясь на верхнем рисунке в окружении холодных соседних, имеет теплый оттенок, а в окружении теплых на нижнем рисунке – холодный.

На рисунке 3.36 показаны переходы красно-оранжевого цвета от холодного к теплomu, а на рисунке 3.37 даны те же изменения, но в пределах сине-зеленого цвета.

В упражнениях с контрастом холодного и теплого полностью исключается контраст светлого и темного, и все цвета, входящие в композицию, должны быть одинаково светлыми или одинаково темными.

Эти модуляции могут быть выполнены на любом тональном уровне, но наиболее благоприятное условие – это средняя светлота тонов.

Изменения цветовых характеристик не должны идти дальше четырех соседствующих цветов двенадцатицветного цветового круга.



Рис. 3.31.



Рис. 3.32.



Рис. 3.33.



Рис. 3.34.

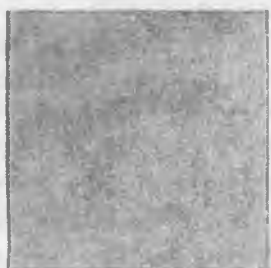


Рис. 3.36.



Рис. 3.35.



Рис. 3.37.

Упражнение с красно-оранжевым цветом может быть применимо также и к оранжевому, желто-оранжевому, красному и красно-фиолетовому цвету. Упражнение с сине-зеленым цветом может быть применимо и к зеленому, желто-зеленому, синему и сине-фиолетовому цвету.

Если мы хотим достичь полярного противопоставления холодного и теплого в их наивысшем проявлении, то должны

строить хроматическую шкалу от сине-зеленого цвета через синий, сине-фиолетовый, красно-фиолетовый, красный до красно-оранжевого. Эта шкала, само собой разумеется, может состоять из большего или меньшего количества тональных ступеней. Хроматический ряд холодно-теплых цветов от желтого к красно-оранжевому может быть пригодным лишь в том случае, если все цвета будут равны светлоте желтого цвета, иначе придется иметь дело с контрастом светлого и темного.

Эти модуляции достигают совершенной красоты только при отсутствии различий в светлоте и темноте использованных цветов.

В то время как на рисунках 3.36 и 3.37 даются хроматические модуляции холодных и теплых цветов, композиция рисунка 3.35 показывает, как за счет контрастного сопоставления цветов удается добиться их максимального звучания.

Контраст холодного и теплого можно считать самым «звучащим» среди других цветовых контрастов. Благодаря ему открывается возможность с помощью цвета передать высшую музыку небесных сфер. Грюневальд использовал этот контраст и для создания цветовой основы «Хора ангелов», и в колористическом решении двух других сцен Изенгеймского алтаря с изображением ангелов, окружающих на небесах Боготца, в композиции с Марией, и в сцене Воскресения Христа. Грюневальд обращался к этому контрасту тогда, когда хотел передать ощущение божественного начала.

Аббат Шугер, освящая первый цветной витраж церкви Сан-Дени в Париже, обратился к пастве со словами о том, что «...материальный смысл назначения человека состоит в том, чтобы постичь высшую нематериальную сущность материи». И сверкающие иероглифы витражей предназначались для того, чтобы понять это. Их магическое сияние было настолько полным тайны, что верующие непосредственно ощущали проникновение потустороннего через сверкающие витражные окна. И восприятие витражей вызывало в них чувство причастности к высшей духовности.

Витражи Шартрского собора, основанные на символическом сочетании теплого красного и холодного синего, дышат

вместе с ритмом дыхания солнца. Благодаря подвижности освещения, постоянно меняющегося вместе с освещенностью неба и углом падения солнечных лучей, цвет витража в течение дня постоянно бывает разным. И благодаря этому прозрачная материя стекла обретает силу сияния драгоценных камней.

Когда Моне перешел к пейзажной живописи, он перестал писать свои картины в мастерской и посвятил себя пленэру. Он интенсивно начал изучать зависимость состояния ландшафта от меняющихся цветовых отношений в различные времена года, дня и в разную погоду. Он стремился запечатлеть в своих картинах мерцание света в воздухе и испарениях горячей земли, световое преломление света в облаках и в поднимающемся тумане, многообразные рефлексy, идущие от спокойной глади воды и волн, игру света и тени в кронах деревьев. Он пронаблюдал, что локальные цвета предметов в зависимости от их освещенности или погруженности в тень и от рефлектирующих со всех сторон цветовых лучей приобретают пятнистость, которая основана прежде всего на варьировании теплых и холодных цветов, нежели просто светлых и темных. В пейзажах Моне наконец-то было преодолено традиционное для живописи использование только контраста светлого и темного, его место отныне занял контраст теплого и холодного.

Импрессионисты открыли, что холодный синий цвет неба и воздуха постоянно контрастирует с теплыми оттенками солнечного света, выполняя роль теневых цветов. Очарование картин Моне, Писсарро и Ренуара заключается зачастую именно в необыкновенной игре модуляций холодных и теплых цветов.

Примерами использования контраста холодного и теплого могут служить Витражи Шартрского собора (XII в.); «Хор ангелов» в Изенгеймском алтаре Маттиаса Грюневальда (1475-1528), Кольмар, Музей Унтерлинден; «Мулен де ля Галетт» Огюста Ренуара (1841-1919), Париж, Музей Орсэ; «Лондонский парламент в тумане» Клода Моне (1840-1926), Париж, Музей Орсэ; «Яблоки и апельсины» Поля Сезанна (1839-1906), Париж, Музей Орсэ.

3.3.4. Контраст дополнительных цветов

Мы называем два цвета дополнительными, если их пигменты, будучи смешанными, дают нейтральный серо-черный цвет. В физике два хроматических света, которые при смешивании дают белый свет, также считаются дополнительными. Два дополнительных цвета образуют странную пару. Они противоположны друг другу, но нуждаются один в другом. Расположенные рядом, они максимально возбуждают друг друга и взаимоуничтожаются при смешивании, образуя серо-черный тон, как огонь и вода. Каждый цвет имеет лишь один-единственный цвет, который является по отношению к нему дополнительным. В цветовом круге на рисунке 3.8 дополнительные цвета расположены диаметрально один другому. Они образуют следующие пары дополнительных цветов:

- желтый - фиолетовый
- желто-оранжевый - сине-фиолетовый
- оранжевый-синий
- красно-оранжевый - сине-зеленый
- красный-зеленый
- красно-фиолетовый - желто-зеленый.

Если мы проанализируем эти пары дополнительных цветов, то найдем, что в них всегда присутствуют все три основных цвета:

- желтый, красный и синий: желтый - фиолетовый = желтый, красный + синий;
- синий - оранжевый = синий, желтый + красный;
- красный - зеленый = красный, желтый + синий.

Подобно тому как смесь желтого, красного и синего дает серый, так и смесь двух дополнительных цветов также превращается в вариант серого цвета.

Можно вспомнить также опыт из раздела «Физика цвета», когда при исключении одного из цветов спектра все остальные цвета, будучи смешанными, давали его дополнительный цвет. Для каждого из цветов спектра сумма всех остальных образует его дополнительный цвет. Физиологически доказано, что как и

явление остаточного изображения, так и симультанный контраст иллюстрируют удивительный и до сих пор необъяснимый факт появления в наших глазах при восприятии того или иного цвета одновременно и другого, уравнивающего его дополнительного цвета, который в случае его реального отсутствия спонтанно генерируется в нашем сознании. Это явление весьма важно для всех практически работающих с цветом. В разделе «цветовая гармония» было установлено, что закон дополнительных цветов является основой композиционной гармонии, потому что при его соблюдении в глазах создается ощущение полного равновесия.

Дополнительные цвета, в их пропорционально правильном соотношении, придают произведению статически прочную основу воздействия. При этом каждый цвет остается неизменным в своей интенсивности. Впечатления, производимые дополнительными цветами, идентичны сущности собственно самого цвета. Эта статистическая сила воздействия дополнительных цветов играет особо важную роль для настенной живописи. Однако помимо этого каждая пара дополнительных цветов обладает и другими особенностями. Так, пара желтый - фиолетовый представляет собой не только контраст дополнительных цветов, но и сильный контраст светлого и темного. Красно-оранжевый - сине-зеленый это также не только пара дополнительных цветов, но одновременно и чрезвычайно сильный контраст холодного и теплого. Красный и дополнительный к нему зеленый равнозначны по своей светлоте. Чтобы яснее усвоить элементарную сущность контраста дополнительных цветов, приведем несколько следующих упражнений.



Рис. 3.38.



Рис. 3.41.



Рис. 3.39.



Рис. 3.42.



Рис. 3.40.



Рис. 3.43.



Рис. 3.44.



Рис. 3.45.

На рисунках 3.38-3.43 представлены три пары дополнительных цветов и их смеси, позволяющие получить серый тон. Цветовая градация полос, образованных при смешении каждой пары дополнительных цветов, определяется постепенным увеличением количества цвета, добавляемого к основному. При этом в центре каждого из этих рядов возникает тот нейтральный серый, который свидетельствует, что данная пара цветов является дополнительной. Если же этого серого не получается, то выбранные цвета не являются дополнительными. Рисунок 3.44 демонстрирует композицию из красного и зеленого и различных модуляций, возникающих при их смешении. Рисунок 3.45 составлен из квадратов, образованных смешением двух пар дополнительных цветов: оранжевого и синего и красно-оранжевого и сине-зеленого.

Во многих картинах, построенных на контрастах дополнительных цветов, эти цвета используются не только в их собственно контрастных качествах, но и составляют основу смесей, которые, наоборот, служат средством тонального выравнивания произведений.

Природа весьма часто демонстрирует нам подобное цветовое смешение. Его можно видеть на стеблях и листьях кустов красных роз пока еще не распустились бутоны. Красный цвет будущих роз смешивается здесь с зеленым цветом стеблей и листьев, вследствие чего возникают прекрасные красно-серые и зелено-серые оттенки.

С помощью двух дополнительных цветов можно получить особенно красивые серые цвета. Старые мастера добивались столь цветного серого, например, благодаря тому, что на основной цвет полосками накладывали противоположный ему или же покрывали первый цветовой слой тончайшим слоем дополнительного к нему цвета.

Пуантилисты добивались цветного серого другим способом. Они наносили чистые цвета мельчайшими точками рядом друг с другом, а появление собственно серого тона происходило уже в глазах зрителя.

Примерами использования контраста дополнительных цветов могут служить следующие картины: «Мадонна канцлера Ролена» Яна ван Эйка (1390-1441), Париж, Лувр; «Царь Соломон, встречающий царицу Савскую» в Аренцо и работа Поля Сезанна «Гора Сен-Виктор», Филадельфия, Музей искусства.

3.3.5. Симультанный контраст

Понятие «симультанный контраст» обозначает явление, при котором наш глаз при восприятии какого-либо цвета тотчас же требует появления его дополнительного цвета, и если такового нет, то симультанно, то есть одновременно порождает его сам. Этот факт означает, что основной закон цветовой гармонии базируется на законе о дополнительных цветах. Симультанно порожденные цвета возникают лишь как ощущение и объективно не существуют. Они не могут быть сфотографированы. Симультанный контраст, как и последовательный контраст, по всей вероятности, возникает по одной и той же причине.

Можно поставить следующий опыт: на большой, ярко окрашенной плоскости разместить маленький черный квадрат, а затем поверх положить листок папиросной бумаги. Если эта плоскость окрашена в красный цвет, то черный квадрат будет казаться зеленоватым, если в зеленый, то черный квадрат покажется красноватым, на фиолетовом фоне — желтоватым, а если поместить его в желтый, то черный квадрат будет казаться

фиолетово-серым. Каждый цвет в глазах зрителя одновременно порождает и свой противоположный цвет.

Рисунки 3.46 - 3.51 демонстрируют этот опыт несколькими способами. В каждый из шести квадратов, окрашенных в чистые цвета, помещено по маленькому квадрату нейтрального серого цвета, светлота которого соответствует светлоте основных цветов. И сразу же каждый из этих серых квадратов начинает приобретать оттенок цвета дополнительного к основному цвету большого квадрата. Проводя этот опыт и наблюдая за изменением оттенка серого цвета в том или ином цветном квадрате, следует предупредить, что все остальные квадраты должны быть прикрыты, а сам лист, на котором они расположены, приближен к глазам. Симультанное действие будет тем сильнее, чем активнее основной цвет и чем дольше мы будем смотреть на него.



Рис. 3.46.



Рис. 3.47.

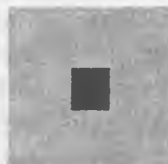


Рис. 3.48.



Рис. 3.49.



Рис. 3.50.

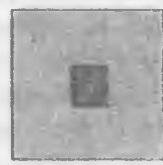


рис. 3.51.



Рис. 3.52.

Поскольку симультанно возникающие цвета реально не существуют, а возникают лишь в глазах, они вызывают в нас

чувство возбуждения и живой вибрации от непрерывно меняющейся интенсивности этих цветовых ощущений. При длительном рассматривании основной цвет как бы теряет свою силу, глаз устаёт, в то время как восприятие симультанно возникшего цвета усиливается.

Симультанный контраст возникает не только при сочетании серого и какого-либо чистого хроматического цвета, но и при сочетании двух чистых цветов, не являющихся строго дополнительными. Каждый из этих цветов будет стремиться сдвинуть другой в направлении к его дополнительному, причем в большинстве случаев оба цвета теряют нечто от присущего им характера и приобретают новые оттенки. В этих условиях цвета получают максимально динамическую активность. Их устойчивость нарушается, и они приходят в состояние изменчивой вибрации. Цвета теряют присущий им объективный характер и как бы «качаются», переходя из своей реальности в новое нереальное измерение. Цвет начинает терять свою материальность, и слова о том, что «сущность цвета не всегда идентична его воздействию», здесь полностью оправдывают себя.

Симультанные свойства цвета имеют первостепенное значение для всех работающих с ним. Гёте говорил, что «симультанный контраст является первейшим качеством цвета, дающим возможность использовать его в эстетических целях».

На рисунке 3.52 на оранжевом фоне изображены три маленьких серых квадрата, демонстрирующие три едва различимых оттенка серого цвета. Причина различий этих трех серых цветов заключается в том, что к первому серому было подмешано немного синего цвета, который содействовал появлению симультанного контраста; второй серый — нейтрален и подвержен симультанным изменениям. Третий же серый содержит примесь оранжевого цвета, достаточного для уничтожения симультанного действия, вследствие чего этот серый не вызывает никаких симультанных изменений. Этот опыт показывает, что с помощью соответствующих мер действие симультанного контраста может быть усилено или уничтожено.

Художнику важно знать, при каких условиях возникают симультанные воздействия цвета и как их можно избежать. Существует множество цветовых задач, при которых симультанные контрасты нежелательны. Несколько лет тому назад мой посетитель — директор одной ткацкой фабрики, выпускающей текстиль для галстуков, в отчаянии обратил мое внимание на несколько сот метров дорогого галстучного шелка, которые не продавались потому, что черная полоса на красном фоне казалась не черной, а зеленой, а это вызвало ощущение беспокойной вибрации.

Впечатление, которое производила эта ткань, было настолько сильным, что покупатели утверждали, что пряжа была зеленой. Если бы для производства данной ткани вместо сине-черной пряжи была использована пряжа коричневатого-черного цвета, то действие симультанного контраста было бы нейтрализовано, а материальных потерь не было.

Кроме изобразительных возможностей нейтрализации действия симультанного контраста существует еще вторая возможность использовать цвета в разной степени их освещенности. При наличии контраста светлого и темного возможность возникновения симультанного контраста уменьшается. Прежде чем начинать работу над композицией, целесообразно проверить действие цветовых взаимоотношений в эскизе.

Симультанные проявления чистых цветов возникают и тогда, когда вместо дополнительных цветов двенадцатицветного цветового круга берутся цвета, расположенные справа или слева от выбранного начального цвета. Так можно взять не желтый к фиолетовому, а желтый к красно-фиолетовому или сине-фиолетовому цвету. Так как желтый и в красно-фиолетовом, и в сине-фиолетовом всегда выявляет дополнительный фиолетовый цвет, красно-фиолетовый в желтом подчеркивает желто-зеленый, а сине-фиолетовый в желтом — желто-оранжевый, благодаря чему и возникают симультанные вибрации. Или другой пример: если композиция построена из желтого и красного цвета на синем, то она гармонически спокойна. Если вместо синего цвета взять сине-зеленый, то это

сразу же приведет к симультанной игре, потому что красный и желтый будут симультанно возбуждаться и будут проявлять себя совсем иначе, чем на синем.

Если необходимо усилить действие симультанного контраста, то новые возможности дает здесь контраст по насыщенности.

В качестве примеров использования симультанного контраста могут быть приведены следующие произведения:

- миниатюра «Сатана и саранча» в Апокалипсисе из Сен Севера, XI век, Париж, Национальная библиотека;
- «Срывание одежд с Христа» Эль Греко (1541-1614), Мюнхен, Старая Пинакотека;
- «Ночное кафе» Винсента Ван Гога (1853-1890), Оттерлоо, Рейксмузеум Креллер-Мюллер.

3.3.6. Контраст по насыщенности

Говоря о «качестве цвета», мы имеем в виду его чистоту и насыщенность. Слова «контраст по насыщенности» фиксируют противоположность между цветами насыщенными, чистыми и блеклыми, приглушенными. Спектральные цвета, полученные путем преломления белого света, являются цветами максимальной насыщенности или максимальной чистоты.

Среди пигментных цветов мы также имеем цвета максимальной насыщенности. В связи с этим мы советуем обратить внимание на рисунок 3.22, который выявляет степень светлоты и темноты основных цветов по отношению друг к другу. Едва только чистые цвета затемняются или освещаются, они теряют свою насыщенность.

Цвета могут терять свою чистоту четырьмя способами, причем они весьма различно реагируют на средства, которые используются в этих целях.

1. Чистый цвет может быть смешан с белым, что придает ему несколько более холодный характер. Карминно-красный цвет при его смешении с белым приобретает синеватый оттенок и резко меняет свой характер. Желтый также становится немного более холодным благодаря примеси белого, а основной

характер синего цвета остается в значительной мере неизменным. Фиолетовый цвет чрезвычайно чувствителен к примеси белого, и если насыщенный темно-фиолетовый цвет имеет в себе нечто угрожающее, то от примеси белого он становится более светлым — лиловым и производит приятное и спокойное впечатление.

2. Чистый цвет можно смешать с черным. При этом желтый теряет свою лучистую светлоту и приобретает некую болезненность и коварную ядовитость. Это немедленно сказывается на его чистоте. Картина Жерико «Умалишенный», написанная в черно-желтых тонах, производит потрясающее впечатление душевного расстройства. Черный цвет усиливает присущую фиолетовому цвету мрачность, наделяет его некой безвольностью и уводит в темноту. При подмешивании черного цвета к ярко-красному кармину последний получает звучание, приближающее его к фиолетовому. Красная киноварь при подмешивании черного дает нечто вроде жженного, красно-коричневого вещества. Синий цвет затмевается черным. Достаточно небольшого добавления черного, чтобы его чистота быстро исчезла. Зеленый цвет допускает гораздо больше модуляций, чем фиолетовый или синий, и имеет много возможностей своего изменения. Обычно черный цвет отнимает у цветов их чистоту. Он отдаляет их от света и более или менее быстро «убивает».

3. Насыщенный цвет может быть ослаблен благодаря добавлению к нему смеси черного и белого, то есть серого цвета. Едва только к насыщенному цвету добавляется серый, то получаются более светлые или более темные, но, в любом случае, более блеклые, чем первоначальный цвет, оттенки. Подмешивание серого цвета нейтрализует другие цвета и делает их «слепыми». Делакура ненавидел серый цвет в живописи и по возможности избегал его, ибо смешанные с серым цвета нейтрализуются симультанным контрастом.

4. Чистые цвета могут быть изменены путем добавления соответствующих дополнительных цветов. Если к фиолетовому цвету подмешать желтый, то получатся промежуточные тона между светло-желтым и темно-фиолетовым. Зеленый и

красный не очень различаются по светлоте и при смешивании переходят в серо-черный. Различные смеси двух дополнительных цветов при освещении их белым цветом дают редкостные по своей сложности оттенки.

Если в какой-либо смеси участвуют все три цвета «первого порядка», то полученный цвет будет отличаться слабым, блеклым характером. В зависимости от пропорций, он может казаться желтоватым, красноватым, синевато-серым или черным. С помощью трех цветов «первого порядка» могут быть получены все степени блеклости. То же относится и к трем цветам «второго порядка» или ко всякой другой комбинации, если только в этой смеси будут участвовать три основных цвета - желтый, красный и синий.

Действие контраста «блеклый — насыщенный» относительно. Какой-нибудь цвет может показаться насыщенным рядом с блеклым цветом, и блеклым — рядом с более насыщенным.

Основные упражнения по контрасту насыщенности могут быть проведены на листе, расчерченном наподобие шахматной доски на двадцать пять квадратов. Чистый цвет помещается в центре, а близкий по светлоте нейтральный серый в каждом из четырех углов. Затем постепенно смешивая серый цвет с чистым, получаем различные промежуточные оттенки.

Для выявления контраста по насыщенности необходимо, избегая контраста светлого и темного, добиться равномерного изменения насыщенности всех квадратов.

Рисунки 3.53 – 3.56 дают нам представление о тончайших возможностях контраста по насыщенности в хроматических модуляциях. Подобные упражнения могут быть выполнены и на основе размещения вместо серого цвета в угловых квадратах цветов, дополнительных к цвету центрального квадрата. При этом все будет гораздо более цветным, чем в упражнении с серым цветом.

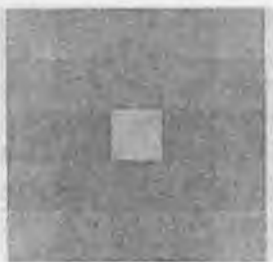


Рис. 3.53.



Рис. 3.54.



Рис. 3.55.



Рис. 3.56.

Если мы хотим добиться выразительности всей композиции, используя только контраст по насыщенности без всяких иных контрастов, то блеклые цвета должны быть составлены на цветовой основе насыщенных, то есть чистый красный должен контрастировать с блеклым красным, а чистый синий — с блеклым синим. Но нельзя использовать чистый красный рядом с блеклым синим или чистый зеленый с блеклым красным. Иначе контраст по насыщенности будет заглушен другими контрастами, например, контрастом холодного и теплого, и его действие с тихой и спокойной выразительностью будет поставлено под вопрос.

Блеклые цвета — главным образом, серые — кажутся живыми благодаря окружающим их чистым цветам. Это можно наблюдать, если на одной части «шахматной доски» в каждом втором квадрате разместить нейтральный серый цвет, а в промежуточных квадратах разместить чистые, насыщенные цвета той же светлоты, что и серый. Тогда мы увидим, что серый цвет приобретет некоторую живость, в то время как

находящиеся рядом с ним хроматические цвета покажутся менее насыщенными и относительно ослабленными.

Использование контраста по насыщенности можно видеть в картинах Жоржа де ла Тура «Новорожденный», Музей города Ренн; Анри Матисса (1869-1954) «Пеон», Нью-Йорк, Музей современного искусства и Поля Клее (1879-1940) «Волшебная рыба», Филадельфия, Музей искусства.

3.3.7. Контраст по площади цветowych пятен

Контраст по площади цветowych пятен характеризует размерные соотношения между двумя или несколькими цветowymi пятнами. Его сущность-противопоставление между «многого» и «мало», «большой» и «маленький».

Цвета могут компоноваться друг с другом пятнами любого размера. Но нам хотелось бы выяснить, какие количественные или пространственные отношения между двумя или несколькими цветами могут считаться уравновешенными и при каких условиях ни один из них не будет выделяться больше, чем другой. Силу воздействия цвета определяют два фактора. Во-первых, светлота цвета и, во-вторых, размер цветowego пятна. Для того чтобы определить светлоту тех или иных цветов, необходимо сравнить их между собой на нейтральносером фоне. При этом мы убедимся, что интенсивность действия или степень светлоты отдельных цветов различны.

Гёте установил простые числовые соотношения, очень удобные в нашем случае. Эти соотношения приблизительны, но кто станет требовать точных данных, если имеющиеся в продаже краски, изготовленные на разных фабриках и продающиеся под одним и тем же названием, так сильно разнятся между собой? В конечном счете решать должен глаз. Помимо того, цветowe участки в картине часто фрагментарны и сложны по форме, и было бы весьма трудно привести их к простым числовым отношениям. Глаз заслуживает большего доверия, но при условии, что он обладает развитой чувствительностью к цвету.

По Гёте степень светлоты основных цветов можно представить системой следующих соотношений:

желтый:	9
оранжевый:	8
красный:	6
фиолетовый:	3
синий:	4
зеленый:	6

Приведем соотношения светлоты следующих пар дополнительных цветов:

- желтый - фиолетовый = $9:3 = 3:1 = 3/4 : 1/4$
- оранжевый - синий = $8:4 = 2:1 = 2/3 : 1/3$
- красный - зеленый = $6:6 = 1:1 = 1/2 : 1/2$

Если для гармонизации размеров цветowych пятен опираться на эти данные, то необходимо использовать эквиваленты, обратные соотношению световых величин. То есть желтый цвет, будучи в три раза светлее, должен занимать лишь одну треть пространства, занимаемого дополнительным фиолетовым цветом.



Рис. 3.57.



Рис. 3.58.



Рис. 3.59.



Рис. 3.60.

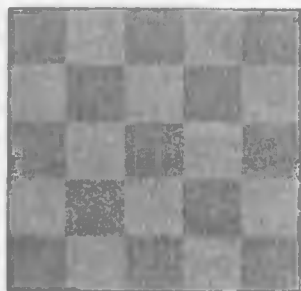


Рис. 3.61.

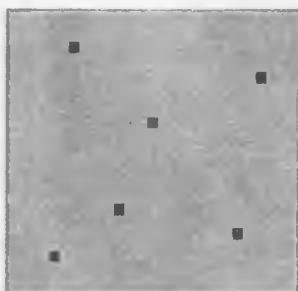


Рис. 3.62.

Как показано на рисунке 3.57 – 3.59, для гармоничных соотношений пятен, заполненных дополнительными цветами, характерны следующие пропорции:

- желтый - фиолетовый = $1/4 : 3/4$
- оранжевый - синий = $1/3 : 2/3$
- красный - зеленый = $1/2 : 1/2$

Таким образом, гармоничные размеры плоскостей для основных и дополнительных цветов могут быть выражены следующими цифровыми соотношениями:

желтый:	3
оранжевый:	4
красный:	6
фиолетовый:	9
синий:	8
зеленый:	6

Или:

- желтый - оранжевый = $3 : 4$
- желтый - красный = $3 : 6$
- желтый - фиолетовый = $3 : 9$
- желтый - синий = $3 : 8$
- желтый - красный - синий = $3 : 6 : 8$
- оранжевый - фиолетовый - зеленый = $4 : 9 : 6$

Соответствующим образом можно представить также и все другие цвета в их соразмерной связи между собой.

На рисунке 3.60 представлен круг гармоничного соотношения основных и дополнительных цветов в их пространственных характеристиках. Он построен следующим образом:

- сначала весь круг делится на три равные части, затем каждая из них, в свою очередь, делится пропорционально числовым отношениям двух дополнительных цветов:

- одна треть круга для желтого и фиолетового цвета делится в соотношении $1/4 : 3/4$;

- другая треть для оранжевого и синего, как $1/3 : 2/3$;

- и последняя треть для красного и зеленого представлена соотношением $1/2 : 1/2$.

Когда эти пропорции найдены, рисуется другой, того же размера круг, где в соответствии с найденными пропорциями создается цветовой ряд согласно последовательности цветового круга: желтый, оранжевый, красный, фиолетовый, синий и зеленый.

Сгармонизованные в своих размерах цветовые пятна производят впечатление спокойствия и устойчивости. Контраст по площади цветowych пятен в этом случае нейтрализуется благодаря гармонично составленным цветовым пятнам.

Представленная здесь система количественных соотношений имеет силу только при использовании цветов в их максимальной насыщенности. При ее изменении меняются и соответствующие размеры цветowych пятен. Оба фактора — и насыщенность, и размер цветowego пятна самым тесным образом связаны между собой.

На рисунке 3.61 красный и зеленый цвет даны в равных пространственных соотношениях. Красный и зеленый как дополнительные цвета, обладая равными пространствами своего цветowego поля, создают ощущение устойчивой, прочной гармонии. Но в том случае, когда эти пространственные соотношения нарушены, возникает иррациональное беспокойство.

Если в цветовой композиции вместо гармоничных пространственных отношений между цветами доминирует какой-то один цвет, композиция приобретает особо экспрессивную

активность. Конкретность выбранных соотношений определяется поставленной целью и зависит от темы картины, художественного чутья и вкуса художника.

При резко выраженном контрасте цветов по площади они начинают производить совершенно новое впечатление.

На рисунке 3.62 красный цвет представлен в предельно минимальном количестве. Зеленый по отношению к нему занимает огромную площадь, в связи с чем по закону симультанного контраста красный, наоборот, начинает звучать сильнее.

В разделе, посвященном симультанному контрасту, было установлено, что глаз требует дополнения к каждому данному цвету. До настоящего времени причина этого явления не выяснена. По всей вероятности, мы подчинены какому-то всеобщему стремлению к равновесию и самозащите. Этому же стремлению обязан своим особым действием и контраст по площади цветowych пятен. Оказавшийся в меньшем количестве и занимающий меньшую площадь, попавший, так сказать, «в беду», цвет реагирует, обороняется и производит относительно более сильное впечатление, чем если бы он был использован в сгармонизованных пропорциях, как на рисунке 3.61. Этот факт известен как биологу, так и садоводу. Когда растение, животное или человек в результате тяжелых условий жизни попадает в бедственное положение, то в тех же растениях, животных и людях просыпаются силы сопротивления, которые при счастливом стечении обстоятельств позволяют достичь больших результатов. Если при длительном созерцании картины сосредоточить свое внимание на каком-либо цвете, занимающем незначительную площадь, то этот цвет начинает казаться все более и более интенсивным и действует возбуждающе.

Благодаря применению двух взаимно усиливающих друг друга контрастов можно придать картине необыкновенную живость и редчайшую цветовую экспрессию. Здесь проявляется исключительная особенность контраста по площади цветowych пятен — его способность изменять и усиливать проявление всех других контрастов. В разделе, посвященном контрасту

светлого и темного, уже немного говорилось о цветовом пропорционировании. Но в сущности именно только контраст по площади в полном смысле является контрастом пропорций. Если в композиции, основанной на контрасте светлого и темного, большая темная часть контрастирует с меньшей светлой, то благодаря этому противопоставлению произведение может приобрести особо углубленный смысл. Так, например, в картине Рембрандта «Мужчина с золотым шлемом» контрастное сопоставление совсем небольшого светлого пятна на его плече с общим объемом головы мужчины невольно заставляет проникнуться ощущением особой значительности образа. В работах Мондриана композиционные структуры из полос красного, желтого и синего цвета держат общие размеры полотен. А у Брейгеля в его картине «Падение Икара» контрастное сопоставление сине-зелено-коричневого колорита пейзажа и вкрапленных в него небольших красно-оранжевых пятен рукава и воротника пахаря выполняет уже иную роль, обеспечивая изобразительную целостность картины. Согласование размеров цветовых пятен, по меньшей мере, столь же важно в работе над живописным произведением, сколь и сам выбор цветовой гаммы, поскольку каждая цветовая композиция должна исходить и развиваться из соотношений цветовых пятен.

Формы, размеры и очертания цветовых пятен должны определяться характером цвета и его интенсивностью, а не предрешаться собственно рисунком.

Соблюдение этого правила особенно важно для определения цветовых масс. Размеры цветовых пятен ни в коем случае не могут быть установлены с помощью линейных контуров, ибо эти размеры определяются лишь интенсивностью красок, характером цвета, его светлотой и силой воздействия, которая во многом зависит от контрастного сопоставления цветов. Если желтое пятно должно выделяться среди светлых тонов, то оно должно занимать значительно большую площадь, чем в том случае, когда это же пятно находится в окружении темных тонов. Здесь достаточно

небольшого желтого пятна, поскольку его светлота усиливается самим окружением.

Подобным же образом отношения всех цветовых масс должны выстраиваться в соответствии с силой их воздействия.

3.4. Пространственное воздействие цвета

3.4.1. Теория цветовых впечатлений

Исходной точкой теории цветовых впечатлений является исследование цветовых проявлений в природе. Это значит, что нам следует изучать впечатления, которые цветные объекты производят на наше зрение.

Симптоматично, что в наше время, при неопределенной ориентации художественных школ, приходится дискутировать о необходимости изучения натуры. Под ее изучением следует понимать не подражательную передачу случайных впечатлений, а прежде всего, аналитическую, исследовательскую проработку объективных характеристик форм и цвета. Для такого изучения необходима интерпретация природы, нежели ее имитация. Однако чтобы интерпретация соответствовала сущности явлений, необходимы точные наблюдения и ясное мышление, которые должны предшествовать созданию изображения. Чем яснее становится смысл, тем больше обостряются чувства, и художественное восприятие привыкает к логическому анализу наблюдений. Изучающие должны вести «борьбу» с природой, ибо ее возможности воздействия иные и превышают те изобразительные средства, которыми мы располагаем в искусстве. Сезанн с огромным интересом работал над мотивами природы. Ван Гог был разрушен этой борьбой, пытаясь в неустанном труде передать свои впечатления от природы, преобразуя их в свою собственную систему цветовой и формальной живописности.

Каждый художник в соответствии со своими наклонностями должен определить для себя меру своей работы по изучению природы. Однако было бы неразумно пренебрегать внешним миром из-за избытка нашего внутреннего. Природа в своем ритме времен года, обращенном то наружу, то внутрь

себя, могла бы служить нам идеальным примером. Весной и летом силы земли выходят наружу, воплощаясь в росте и созревании, а осенью и зимой возвращаются снова назад и обновляются для будущего роста.

Рассмотрим теперь проблему цвета в природе. С позиций физики все предметы сами по себе цвета не имеют. Когда белый свет — под которым мы подразумеваем солнечный свет — освещает поверхность какого-либо предмета, то последний в соответствии со своим молекулярным составом поглощает одни световые волны определенной длины, или цвета, и отражает другие. Цвета спектра могут быть разделены на две группы, причем каждая из этих групп может быть объединена в один цвет с помощью собирающей линзы. Полученные таким путем два цвета взаимно дополняют друг друга. Таким образом, отраженные поверхностью предмета световые лучи оказываются цветом, дополнительным по отношению к сумме поглощенных лучей. Отраженный цвет кажется нам тем локальным цветом, который присущ данному предмету.

Тело, которое отражает все лучи белого света и не поглощает ни одного, выглядит белым. Тело, которое поглощает все лучи белого света и не отражает ни одного, кажется нам черным.

Если мы осветим синее тело оранжевым светом, то оно будет казаться черным, ибо в оранжевом нет синего, который могло бы отразить это тело. Отсюда можно судить о громадном значении цвета освещения. Изменение цвета освещения меняет и локальные цвета освещенных предметов. Чем хроматичнее освещение, тем сильнее меняется локальный цвет. Чем цвет освещения ближе к белому, тем интенсивнее отражаются непоглощенные предметами цвета и тем более чистым покажется нам их локальный цвет. При изучении цвета в природе чрезвычайно важными оказываются наблюдения за цветом освещения. В этой связи было бы полезно обратиться к методам работы импрессионистов, которые непрестанно изучали изменения локальных цветов под действием меняющегося освещения.

Само собой разумеется, что важен не только цвет освещения, но и его интенсивность. Свет не только придает окраску предмету, но и материализует его пластически. Для передачи этих качеств необходимо, по крайней мере, иметь в виду три различные градации силы света: свет, обладающий полной силой, средней силой и свет, дающий ощущение тени.

При освещении светом средней силы локальные цвета предметов приобретают особую четкость, так же как и фактурные особенности поверхностей становятся более очевидными. При свете в полную силу цвет предмета высветляется, а в тени — воспринимается смутным и затемненным.

Отраженные цветовые лучи весьма сильно изменяют локальные цвета предметов.

Локальный цвет, как уже было замечено, возникает благодаря тому, что цветовые лучи отражаются и переходят в окружающее пространство. Если данный предмет имеет красный цвет и его красные лучи падают на рядом стоящий белый предмет, то на последнем заметно красноватое отражение. Если красные лучи упадут на зеленый предмет, то мы увидим на нем серо-черное отражение, ибо взаимодействие красного и зеленого цвета ведет к уничтожению друг друга. Если красные лучи падают на черную поверхность, то на ней видны черно-коричневые рефлексy.

Чем более глянцевыми будут поверхности предметов, тем сильнее и ощутимее будет отражение.

Изучая изменения собственно цвета предметов при непрерывном изменении цвета солнечного света и цвета отражений, импрессионисты пришли к заключению, что локальные цвета растворяются в общей цветовой атмосфере. Это означает, что при изучении цветовых впечатлений следует обратить внимание на четыре главных момента: локальный цвет предмета, цвет освещения, цвет при интенсивном освещении и в тени.

Предмет может быть представлен различным образом. Он может быть изображен сверху, спереди и сбоку в самых точных его пропорциях. И это будет аналитической формой его изображения. Затем предмет может быть вычерчен согласно

законам перспективы или же передан в объемной форме с помощью светотени.

Красная ваза и желтый ящик могут быть нарисованы в перспективе и гласно покрыты каждый своим локальным цветом. Затем форма и цвет с помощью светлых и темных тонов могут получить объемную проработку. При этом объемная интерпретация может быть превращена в плоскостную, если цвет предметов по своей светлоте будет связан с цветом фона. Именно таким образом достигается тональная связь изображенных предметов с плоскостью картины.

Если каждый предмет и каждую плоскость изобразить в соответствии с их реальным природным цветом, то можно добиться вполне реалистически конкретного изображения. Но такая композиция будет состоять из множества отдельных частей, которые неохотно будут стремиться к объединению.

Если же цвет предметов выступает как локальный цвет живописной композиции в целом, и объект обретает здесь свой собственный цвет как красное в общем красном или желтое в общем желтом, то предметы теряют свою изолированность. Они растворяются в своей собственной атмосфере, которая становится живописной атмосферой картины.

Пластического впечатления можно добиться благодаря модуляциям холодных и теплых тонов, которые способствуют растворению локальных цветов. В этом случае места, решенные в светотеневых отношениях, занимают равными им по светлоте холодными или теплыми вариациями локальных цветов. При этом контраст света и тени в значительной мере смягчается, вызывая ощущение повышенной живописности. При изучении локальных цветов следует обратить внимание на изменения, обусловленные и цветом самого освещающего света. Так, при голубоватом освещении зеленая ваза будет выглядеть сине-зеленой, ибо локальные цвета смешиваются с цветом освещения.

Отраженные цвета растворяют локальные, освобождая форму и цвет предметов от жесткой определенности и превращая все в полифонию цветовых пятен. Делакруа говорил в связи с этим, что «вся природа есть отражение».

К области изучения импрессионистических проявлений цвета относится также и проблема цветных теней.

Если в летний вечер в оранжевом свете заходящего солнца и при голубом небе на востоке наблюдать за тенями деревьев, то очень отчетливо виден их голубой цвет. Еще заметнее цветные тени зимой, когда все улицы покрыты белым снегом. Под темно-синим ночным небом в оранжевом свете уличных фонарей тени на снегу приобретают глубокий, светящийся синий цвет. Проходя зимним вечером после снегопада по улице, освещенной пестрой цветной рекламой, легко заметить красные, зеленые, синие и желтые тени, лежащие на белой земле.

В живописи эти природные явления были освоены импрессионистами. Синие тени деревьев, появившиеся в их картинах, вызвали большое волнение среди посетителей выставок. Поскольку до этого царило всеобщее мнение, что тени должны иметь серо-черный цвет. Хотя импрессионисты пришли к изображению цветных теней, опираясь только на тщательные наблюдения за природой.

Однако понятие «импрессионизм», в том значении, в каком оно употребляется в настоящее время, не ограничивается собственно принадлежностью лишь импрессионистической школе живописи. Я причисляю к числу импрессионистически мыслящих художников и братьев Ван Эйк, Гольбейна, Веласкеса и Сурбарана, и братьев Ленен, Шардена и Энгра, поскольку их произведения во многом обязаны точным наблюдениям природы. Китайская живопись тушью тоже в значительной мере импрессионистична. Мировоззрение древнего Китая требовало уважения к природе и ее силам. Поэтому нельзя удивляться тому, что художники уделяли серьезное внимание изучению природных форм. Горы, вода, деревья и цветы были для них духовными символами. Китайские художники изучали природные формы настолько долго, пока не овладевали ими, как овладевали своими буквенными знаками. Для изображения природных форм они, в большинстве случаев, пользовались одной только краской, своей черной

тушью, которую заставляли звучать во всех возможных оттенках. Абстрактный характер самой туши усиливал символический смысл их живописи.

В современном искусстве можно встретить картины, на которых человеческие лица изображены зелеными, синими или фиолетовыми. Непосвященный зритель часто не знает, что ему и думать. У художников подобное использование цвета может иметь самые различные причины. Синий и фиолетовый цвет для изображения человеческого лица может иметь экспрессивное значение, выражая некое психологическое состояние. Зеленый или синий цвет лица может иметь и символический смысл. В этих изображениях нет ничего нового. Подобное символическое отношение к цвету можно встретить уже в искусстве древней Индии и Мексики. Зеленый или синий цвет лица может объясняться и собственно тенью, которую дает цвет освещения.

Проблемы цветных теней могли бы прояснить следующие эксперименты.

В 1944 году в Цюрихе по случаю выставки в Музее декоративного искусства, посвященной феномену цвета, был прочтен доклад о цветных тенях. Был продемонстрирован, что белый предмет, освещенный при дневном свете красным светом, дает зеленую тень. Зеленый — отбросил тень красную, желтый — фиолетовую, а фиолетовый — желтую. Каждый цветной свет при дневном свете отбрасывает тень дополнительного к нему цвета. Руководитель класса фотографии Ганс Финслер сфотографировал это явление. Цветные фотографии показали, что цветные тени были действительно реальными, а не являлись результатом симультанного контраста.

В этой связи следует подчеркнуть, что при этих опытах все цветовые смеси были результатом сложного цветового синтеза, потому что дело касалось собственно цветного света, а не пигментных красок.

Исследования цветных теней, предпринятые в последующих опытах, дали поразительные результаты.

1. При красно-оранжевом цвете освещения при отсутствии дневного света получается черная тень. При синем или зеленом цвете освещения тени также оказываются черными.

2. Освещение предмета при отсутствии дневного света двумя цветными лучами дало такие результаты:

- при красном и зеленом свете, красные лучи отбрасывали зеленые тени, а зеленые лучи отбрасывали красные. Перекрещивающиеся тени давали черный цвет, а смесь зеленого и красного света была желтой;

- при опыте с красно-оранжевым и зелено-синим светом, красно-оранжевый отбрасывал синюю тень, а зелено-синий — красно-оранжевую. Два луча пересекающихся теней давали черный цвет, а смешанный цвет двух освещающих лучей — пурпурно-розовый;

- когда для освещения использовался зеленый и синий цвет, то зеленый отбрасывал синюю тень, а синий — зеленую. Пересечение теней отбрасывало черную тень, а тень от смеси двух освещающих лучей была сине-зеленой.

3. Если для опыта взять три разных освещения, а именно — красно-оранжевое, зеленое и сине-зеленое то при красно-оранжевом цвете освещения отбрасывается тень сине-зеленого цвета, зеленый луч дает тень пурпурно-розового цвета, а сине-зеленый — желтую. При пересечении всех трех цветных теней получался черный цвет, а совмещение самих цветовых лучей давало просто белый фон.

Изучение цветовых впечатлений дает художнику еще много возможностей для постижения цветовых тайн природы и их использования в искусстве.

3.4.2. Теория цветовой выразительности

Оптическим, электромагнитным и химическим процессам, происходящим в наших глазах и в сознании при наблюдении за цветом, соответствуют нередко параллельные процессы в психологической сфере человека. Переживания, обусловленные восприятием цвета, могут проникать глубоко в мозговые центры и определять эмоциональное и духовное восприятие.

Гёте неслучайно говорил о чувственно-нравственном воздействии цвета. Ему как-то была рассказана следующая история. Один деловой человек организовал торжественный ужин. Входящих в дом гостей встречали доносившиеся из кухни изумительные запахи, и все приглашенные предвкушали ожидавшее их пиршество. Когда веселая компания разместилась вокруг стола, покрытого великолепно приготовленными яствами, хозяин осветил столовую красным светом. Мясо на тарелках окрасилось нежным розовым цветом и казалось аппетитным и свежим, но шпинат стал совершенно черным, а картофель ярко-красным. Не успели гости опомниться от удивления, как красный цвет перешел в синий, жаркое приняло гнилостный оттенок, а картофель словно заплесневел. Все приглашенные сразу потеряли всякий аппетит. Но когда в дополнение ко всему этому хозяин включил желтый свет, превратив красное вино в постное масло, а гостей в живые трупы, несколько чувствительных дам встали и быстро покинули столовую. Никому не приходило и в голову думать о еде, хотя все присутствующие прекрасно знали, что все эти странные ощущения были вызваны только изменением цвета освещения. Хозяин, смеясь, вновь включил белый свет и вскоре ко всем собравшимся вернулось веселое настроение.

Нет никакого сомнения в том, что цвет оказывает на нас громадное влияние, независимо оттого, отдаем ли мы себе в этом отчет или нет.

Глубокая синева моря и далеких гор очаровывает нас, тот же самый цвет во внутренних помещениях кажется нам жутким и безжизненным, он вселяет в нас ужас, и мы едва решаемся дышать. Синие отражения на коже делают ее бледной, почти мертвенной. Во тьме ночи синий неоновый свет кажется нам привлекательным, подобно синему цвету на черном фоне, а вместе с красным и желтым светом создает веселый живой колорит. Синее, залитое солнечным светом небо, оказывает на нас оживляющее, как бы активизирующее действие, в то время как синий цвет освещенного луной неба вызывает пассивность, пробуждая в нашем сердце непостижимую тоску.

Краснота лица выдает ярость или лихорадку, синеватый, зеленоватый или желтоватый его цвет говорят о болезненном состоянии человека, хотя в каждом из этих чистых цветов нет ничего болезненного. Красный цвет неба угрожает плохой погодой, а синее, зеленое или желтое небо обещает хорошую погоду.

На основе подобных житейских наблюдений, казалось бы, невозможно перейти к простым и точным умозаключениям о выразительности цвета. Желтые тени, фиолетовый свет, синезеленый огонь, краснооранжевый лед — все это казалось бы стоит в явном противоречии с нашим опытом и создает впечатление какой-то потусторонности. И только люди, умеющие глубоко и восхищенно реагировать, способны воспринимать цвет и его сочетания абстрагированно.

На примере четырех времен года можно показать, что восприятие и переживание цвета может быть предопределено объективно, хотя каждый человек видит, чувствует и оценивает цвет по-своему. Суждение «приятный - неприятный» не может быть основой правильного и правдивого колористического решения. Более приемлемыми будут критерии, которые возникают в том случае, когда наши суждения относительно каждого отдельного цвета исходят из оценки общей цветовой гаммы. С позиции четырех времен года это означает, что для каждого из них нам следует находить те цвета в цветовом шаре, которые в целом ясно выражают его характер.

Весна, сияющее юностью и радостью пробуждение природы, обычно выражается красками, пронизанными светом. Это, конечно, желтый цвет как самый близкий к белому и желтозеленый как высшая степень проявления желтого. Светлорозовые и светло-голубые цвета усиливают и обогащают это звучание. А желтый, розовый и лиловый воспринимаются цветом распускающихся почек.

Цвета осени резко контрастируют с весенними. Осенью зелень растений отмирает и приобретает коричневые и фиолетовые оттенки.

Обещания весны реализуются в зрелости лета.

Летом природа словно находит свое выражение в изобилии и пышности форм и силе цвета, достигает пластической полноты своей созидательной мощи. Теплые, насыщенные, активные цвета, которые находятся только в определенной части цветового круга, обладая особой силой и энергией, становятся главными для выражения цветовой интенсивности лета. При этом различные зеленые цвета усиливают здесь лишь оттенки красного, а синие — звучание дополнительного к ним оранжевого цвета.

Для изображения зимы, которая в своем магнетическом притяжении сил земли погружает природу в пассивное состояние, требуются цвета холодные, сияющие внутренней глубиной, прозрачные и одухотворенные. Величественный цикл дыхания природы, совершающийся в смене времен года, находит таким образом себе четкое объективное цветовое выражение. Если при выборе цветовых сочетаний отказаться от наших познаний и не иметь постоянно перед глазами всего мира красок, то наш удел — это только безвкусные, ограниченные решения и потеря истинных и правдивых.

По-видимому, нет иного пути для появления правильного суждения о выразительных качествах цвета, чем исследование его отношений с каким-либо другим цветом или их совокупностью.

Для понимания психологически духовной выразительности каждого цвета, свойственной только ему, необходимы сравнения. Чтобы избежать возможных ошибок, необходимо самым точным образом дать название цвета, определить его характер, который мы имеем в виду, а также цвет, с которым мы будем его сравнивать. Когда мы говорим — «красный цвет», необходимо иметь в виду, какой это красный, и по отношению к какому цвету возникла та или иная его характеристика. Желтовато-красный цвет, оранжево-красный — нечто совершенно иное, чем синеовато-красный, а оранжево-красный на лимонно-желтом фоне опять-таки весьма сильно отличается от оранжево-красного на черном фоне или на лиловом фоне одинаковой с ним светлоты. В дальнейшем мы рассмотрим желтый, красно-оранжевый, синий, оранжевый, фиолетовый и

зеленый цвета в том порядке, в каком они расположены на двенадцати частном цветовом круге (рис.3.8), и опишем их взаимоотношения, чтобы точно определить их психологическую и духовную выразительность.

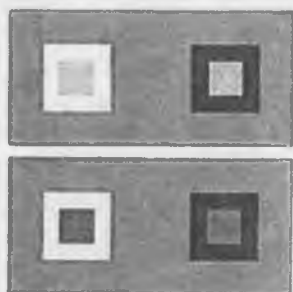


Рис. 3.63–3.64.

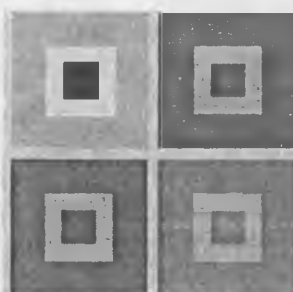


Рис. 3.65–3.68.

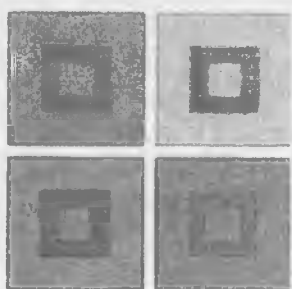


Рис. 3.69–3.72.

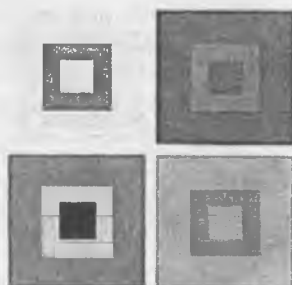


Рис. 3.73–3.76.

ЖЕЛТЫЙ. Желтый цвет — самый светлый из всех цветов. Он теряет это качество, как только его затемняют серым, черным или фиолетовым цветом. Желтый представляет собой как бы уплотненный и более материальный белый цвет. Чем глубже этот ставший желтым свет проникает в толщу непрозрачных материалов, тем в большей степени он уподобляется желто-оранжевому, оранжевому и красно-оранжевому. Красный цвет является его границей, которую желтый перейти не может. В середине пути от желтого к красному стоит оранжевый, самая сильная и наиболее концентрированная

степень проникновения света в материю. Золотой цвет представляет собой максимальную сублимацию материи силой света, неуловимо излучающегося, непрозрачного и легкого как чистая вибрация.

В прежние времена золото часто использовалось в живописи. Оно означало светящуюся, излучающую свет материю. Золотые мозаичные своды византийских соборов, как и задние планы картин старых мастеров, выступали в роли символического пространства нездешнего мира, чудесного царства солнца и света. Золотой нимб святых являлся признаком их особого озарения. Состояние святости постигалось как озарение светом, погружаясь в который они почти лишались дыхания. Символом небесного света могло быть только золото.

Сказать в просторечии «увидеть свет», означало понять скрытую прежде правду. Говоря о каком-нибудь человеке, что у него «светлая голова», мы косвенно называем его умным. Желтый как самый светлый из цветов символизирует разум, познание. По представлению Грюневальда возносящийся на небо Христос, окутанный желтым сиянием, является выражением универсальной мудрости.

Конрад Витц написал «Синагогу» в желтом одеянии, чтобы придать ей выражение разумности и склонности к размышлениям.

Как только возникает понятие правды, так сразу же возникает и желтый цвет.

Затуманенная правда — это больная правда, неправда вообще. Поэтому тусклый желтый цвет будет выражать зависть, предательство, двуличие, сомнение, недоверие и безумие. В картине Джотто «Поцелуй Иуды» и в «Тайной вечере» Гольбейна Иуда изображен в тусклом желтом одеянии. Серо-желтый цвет покрывала, перекинутого через плечо женской фигуры на картине Эль Греко «Срывание одежд с Христа», вызывает странное впечатление. Но тот же желтый цвет в контрасте с темными тонами несет в себе нечто лучезарно радостное.

На рисунках 3.65–3.68 показано, как один и тот же желтый, в зависимости от помещенных рядом с ним цветов, меняет свою выразительность. Желтый на розовом фоне приобретает зеленоватый оттенок и его лучезарность пропадает. Там, где правит чистая любовь (розовый цвет), там рассудку и познанию (желтый цвет) приходится туго.

Когда желтый цвет наложен на оранжевый, то он производит впечатление очищенного светло-оранжевого тона. Оба цвета рядом напоминают о сиянии яркого утреннего солнца над полем зреющей пшеницы. Если желтый цвет дан на зеленом фоне, то он сияет, затмевая зеленый. Так как зеленый цвет представляет собой смесь желтого и синего, то желтый выглядит здесь, словно в гостях у родных.

Желтый цвет на фиолетовом фоне приобретает чрезвычайно большую силу, суровую и безжалостную. Но когда желтый смешивают с фиолетовым, он немедленно теряет свой характер и становится болезненным, коричневатым и безразличным.

Желтый на средне-осветленном синем сияет, но как чужой и потерянный. Нежно чувственный светло-синий с трудом переносит рядом с собой светлое познающее начало желтого.

Желтый на красном создает мощный, громкий аккорд, вызывающий в памяти звуки органа в пасхальное утро. Его великолепие излучает богатство познания и бытия.

Желтый цвет на белом фоне (рис. 3.63) производит впечатление темного цвета, потерявшего свою лучистость. Белый цвет оттесняет его и ставит в положение подчиненного цвета. Если мы заменим белый цвет фона желтым, а желтый цвет белым, то оба цвета изменят свое выражение.

Желтый цвет на черном фоне проявляет себя в самом ярком и агрессивном блеске. Он резок и остр, бескомпромиссен (рис. 3.63).

Различное поведение желтого отчетливо демонстрирует трудности, которые появляются при попытке в общих словах дать определение выразительного своеобразия того или иного цвета без учета непосредственного наблюдения за его конкретными проявлениями в различных ситуациях.

КРАСНЫЙ. Красный цвет на цветовом круге не имеет ни желтоватого, ни синеватого оттенка. Его мощную, неотразимую яркость нелегко затмить, но он чрезвычайно изменчив и легко меняет свой характер. Он становится весьма восприимчивым, когда принимает желтоватый или синеватый оттенок. Как желтоватый, так и синеватый красный цвет отличается большими возможностями своих модуляций (Рис.3.69–3.72).

Красно-оранжевый цвет плотен и непрозрачен, но так ярок, словно наполнен внутренним жаром. Теплота красного цвета повышается в красно-оранжевом до силы пламени.

Красно-оранжевый свет благотворно влияет на рост растений и усиливает деятельность органических функций. При правильном подборе контрастных цветов красно-оранжевый цвет становится выражением лихорадочной, воинственной страсти. Ассоциируясь с планетой Марс, красный цвет связан с представлениями о войнах и демонических мирах. И неслучайно одежда воинов была красно-оранжевой в знак их кровавого ремесла.

Знамена революций были также окрашены в краснооранжевый цвет. В этом цвете пылает жар страстной физической любви. Чистый красный цвет означает любовь духовную. Так, Шаронтон в своей картине «Коронация Марии» написал Бога-Отца и Сына в красных мантиях. Мадонна Изенхеймского алтаря и «Штуппахская мадонна» Грюневальда изображены в красных одеждах.

В пурпурно-красном — цвете кардиналов — объединена светская и духовная власть.

Меня контрастирующие цвета, я постараюсь показать, как может в связи с этими изменениями меняться выразительность красно-оранжевого цвета.

На оранжевом фоне красно-оранжевый кажется тлеющим, темным и безжизненным, словно засохшим. Если мы углубим оранжевый цвет до темно-коричневого, то красный огонь вспыхнет в нем сухим жаром; но только в контрасте с черным цветом красно-оранжевый развернет свою высшую, непобедимую, демоническую страстность. На зеленом он будет действовать как дерзкий, раздраженный агрессор, банальный и

шумный. На сине-зеленом фоне покажется разгоревшимся огнем, а на холодном красном — угасающим жаром, принуждающим холодный красный к сильному, активному сопротивлению. Различные проявления красно-оранжевого цвета в наших опытах дают лишь слабое представление о его выразительных возможностях. В противоположность желтому цвету красный имеет очень много модуляций, поскольку его можно варьировать в пределах контрастов теплого и холодного, светлого и темного, блеклого и насыщенного, не разрушая его красной цветовой основы. Красный цвет, от демонически мрачного оранжево-красного на черном фоне, до ангельски-нежного розового, может выражать все промежуточные градации ощущений царства подземного и небесного. Для него закрыт только путь к неземному, духовному миру, прозрачному и воздушному, ибо там господствует синий цвет.

СИНИЙ Чистым синим цветом называют цвет, в котором нет ни желтоватых, ни красноватых оттенков. Если красный всегда активен, то синий всегда пассивен, если относиться к нему с точки зрения материального пространства. С точки зрения духовной нематериальности синий, наоборот, производит активное впечатление, а красный цвет — пассивное. Все дело здесь заключается в «направлении взгляда».

Синий цвет всегда холодный, красный всегда теплый. Синий цвет словно сжат и сосредоточен в себе, он интровертен. И если красный подчинен крови, то синий подчинен нервам. Люди, которые в своих субъективных цветовых предпочтениях тяготеют к синему, в большинстве отличаются бледным цветом лица и слабым кровообращением. Зато их нервная система выносливее. Синий цвет обладает мощью, подобной силам природы зимой, когда все, скрытое в темноте и тишине, копит энергию для зарождения и роста. Синий всегда производит впечатление тени, а в зените своего великолепия стремится к темноте. Синий — это неуловимое ничто, которое все же постоянно присутствует как прозрачная атмосфера. В земной атмосфере синий цвет разлит, начиная от светлейшей небесной лазури до глубочайшей синей черноты ночного неба. Синий привлекает нас трепетностью веры в бесконечную духовность.

Для нас синий цвет — символ веры, как для китайцев он — символ бессмертия.

Когда синий затемнен, то его тусклый цвет вызывает в нас чувство суеверия, боязни, ощущение потерянности и печали, но вместе с тем этот цвет всегда указывает путь к сверхчувственно-духовному, трансцендентному.

На рисунках 3.73–3.76 показаны изменения впечатлений, которые производит синий цвет в зависимости от цветового окружения.

Если синий цвет дан на желтом, то он кажется очень темным и потерявшим свою силу. Там, где господствует ясный интеллект, там вера кажется тупой и темной.

Когда синий цвет осветлен до светлоты желтого цвета, он излучает холодный свет. Его прозрачность превращает желтый в плотный материальный цвет.

Синий на черном фоне светится в полной своей чистоте и силе. Там, где господствует черное невежество, синий цвет чистой веры сияет подобно далекому свету.

Если мы поместим синий на лиловом фоне, то он покажется отчужденным, пустым и слабым. Лиловый отнимает у него значимость большой материальной силы, «осуществляющей веру». Она возвращается к нему, когда лиловый становится более темным. На темно-коричневом (тускло-оранжевом) синий возбуждается до сильной вибрации, а рядом с коричневым цветом, как симультанном к нему, он оживает, а считавшийся «мертвым» коричневый начинает праздновать свое воскрешение.

На красно-оранжевом фоне синий сохраняет свою чистоту, которая находит себе выход в ярком излучении. Здесь синий цвет утверждает и оправдывает себя в своей странной нереальности.

Синий на фоне спокойного зеленого цвета приобретает сильный красноватый оттенок. И только благодаря подобной склонности спасается от парализующей насыщенности зеленого цвета, сохраняя при этом свое живое воздействие.

Синий, склонный по своей природе к выражению уединения, тихого смирения и глубокой веры, часто используется в картинах, изображающих Благовещение.

ЗЕЛЕНЬ. Зеленый представляет собой промежуточный цвет между желтым и синим. В зависимости оттого содержит ли он больше желтого или синего, меняется и характер его выразительности. Зеленый является одним из тех цветов, который получается при смешении двух основных — желтого и синего цвета, но эту операцию трудно осуществить с той точностью, при которой ни один бы из них не преобладал. Зеленый — это цвет растительного мира, образующийся благодаря фотосинтезу таинственного хлорофилла. Когда свет попадает на землю, а вода и воздух высвобождают свои элементы, тогда силы, сосредоточенные в зеленом, стремятся выйти наружу. Плодородие и удовлетворенность, покой и надежда определяют выразительные достоинства зеленого цвета, в котором соединяются познание и вера. Если сияющий зеленый затемняется серым цветом, то у зрителя легко возникает чувство ленивой вялости. Если зеленый принимает желтые оттенки, приближаясь к желто-зеленому цвету, то это создает впечатление юных, весенних сил природы. Весеннее утро или утро раннего лета без желто-зеленого цвета, без надежды и радостного ожидания летних плодов немыслимо. Желто-зеленый может быть активизирован до своего предела путем добавления оранжевого цвета, хотя в этом случае он легко приобретает грубый, вульгарный характер. Если зеленый принимает синий оттенок, то это приводит к увеличению его духовной значимости. Окись марганца обладает интенсивным сине-зеленым цветом. Этот ледяной цвет представляет собой полюс холода, подобно тому как красно-оранжевый является в мире цвета полюсом тепла. Сине-зеленый цвет в противоположность к зеленому и синему производит впечатление сильной холодной агрессивности. Амплитуда модуляций зеленого цвета весьма велика и с помощью контрастных сопоставлений можно добиться его самых различных выразительных проявлений.

ОРАНЖЕВЫЙ. Оранжевый цвет — смесь желтого с красным — максимально активен. В материальной сфере он обладает яркостью солнечного света, достигая в красно-оранжевом оттенке максимума активной, теплой энергии. Праздничный оранжевый цвет легко принимает оттенок гордой, внешней пышности. В разбеленном виде он быстро теряет свой характер, а затемненный черным цветом тускнеет и переходит в тупой, ничего не говорящий и сухой коричневый. Если этот коричневый осветлить, то мы получим бежевые тона, создающие своим дружелюбием теплую, благотворную атмосферу.

ФИОЛЕТОВЫЙ. Крайне трудно установить точный фиолетовый цвет, который не имел бы ни красноватого, ни синеватого оттенка. Многие люди не обладают способностью разбираться в оттенках фиолетового. В качестве антипода желтого цвета — цвета познания — фиолетовый является цветом бессознательного и таинственного, то угрожающего, то ободряющего, но всегда впечатляющего. В зависимости от соседних контрастирующих цветов он нередко может вызвать у зрителя даже гнетущее настроение. Когда фиолетовый цвет покрывает большие площади, он может стать определенно угрожающим, особенно рядом с пурпурным цветом. «Свет этого рода, падающий на ландшафт, — говорил Гёте, — наводит на мысль о всех ужасах гибели мира».

Фиолетовый — это цвет бессознательного благочестия, который в затемненном или более тусклом виде становится цветом темного суеверия. Из темно-фиолетового как бы прорываются таящиеся в нем катастрофы. Но как только он осветлен, когда свет и познание озаряют его суровое благочестие, то мы начинаем восхищаться его прекрасными нежными тонами.

В самом общем виде диапазон выразительных возможностей мира фиолетовых оттенков можно представить так: чистый фиолетовый цвет несет в себе мрак, смерть и одновременно благочестие, сине-фиолетовый вызывает чувство одиночества и самоотрешенности, красно-фиолетовый ассоциируется с небесной любовью и духовным величием. И в тоже

время зародыши многих растений имеют светло-фиолетовые побеги и желтые зернышки.

Принято считать, что все освещенные цвета представляют собой более светлые стороны жизни, в то время как затемненные символизируют темные и негативные ее силы.

Проверить точность этих высказываний о выразительных проявлениях цвета можно с помощью двух опытов. Если два цвета являются дополнительными по отношению один к другому, то и их истолкования должны быть дополнительными между собой.

- Желтый : фиолетовый = ясное познание : темное, эмоциональное благочестие.

- Синий : оранжевый = смиренная вера : гордое самосознание.

- Красный : зеленый = материальная сила : сочувствие.

Когда два цвета смешаны, то истолкование вновь возникшей смеси также должно соответствовать истолкованиям каждого из ее компонентов.

- Красный + желтый = оранжевый = сила и познание порождает гордое самосознание.

- Красный + синий = фиолетовый = любовь и вера порождают эмоциональное благочестие.

- Желтый + синий = зеленый = познание и вера порождают сочувствие (сострадание).

Чем больше мы будем размышлять о психологической и эмоциональной выразительности цвета, тем более таинственным он будет нам казаться.

Изменчивыми, с одной стороны, являются проявления самого цвета, а с другой, и наши субъективные способности переживать цвет.

Каждый цвет может изменяться в пяти аспектах:

- в характере цвета, когда зеленый может стать более желтоватым или синеватым, а оранжевый может принять более красный или более желтый оттенок;

- в светлоте, когда красный цвет может быть розовым, красным, темно-красным, а синий - голубым, синим и темно-синим;

- в насыщенности, когда синий цвет может быть более или менее осветлен белым или затемнен черным, серым или его дополнительным — оранжевым цветом;

- в количественном отношении или в площади цветового пятна, когда, к примеру, большое пространство зеленого цвета располагается рядом с маленьким пространством желтого цвета, или на полотне много желтого цвета по сравнению с зеленым, или же на полотне столько же желтого, сколько и зеленого;

- в результате возникновения симультанных контрастных воздействий.

Изложенное в этом разделе позволяет сделать одно критическое замечание по отношению к творческому процессу художника. Его впечатления и душевные переживания могут быть очень интенсивны и велики, но если с самого начала работы над произведением он не выберет из всей цветовой гаммы основной, нужной для него группы, то конечный результат может оказаться сомнительным. Поэтому подсознательное восприятие, интуитивное мышление и позитивные знания должны составлять одно целое, чтобы из многообразия доступных нам возможностей выбрать истинные и правильные.

Матисс писал: «При правильной постановке дела выясняется, что процесс написания картины не менее логичен, чем процесс постройки здания. Вопросы таланта не должны играть здесь роли. Человек имеет его или нет. И если талант есть, то это так или иначе в произведении проявится».

Использование выразительных возможностей цвета особенно характерно для произведений Конрада Витца (1410-1445) и прежде всего для следующих его картин: «Цезарь и Антипатр», «Давид и Абишай», «Синагога», Публичное художественное собрание в Базеле. К этому ряду можно причислить картины Питера Брейгеля Старшего (1525-1569) «Притча о слепых», Неа-поль, Национальный музей, и Маттиаса Грюневальда (1475-1528) «Воскресение Христа» из Изенхеймского алтаря, Кольмар, Музей Унтерлинден.

3.4.3. Композиция

Компоновать в цвете значит расположить рядом два или несколько цветов таким образом, чтобы их сочетание было предельно выразительным. Для общего решения цветовой композиции имеет значение выбор цветов, их отношение друг к другу, их место и направление в пределах данной композиции, конфигурация форм, симультанные связи, размеры цветowych площадей и контрастные отношения в целом.

Тема цветовой композиции настолько многообразна, что здесь возможно отразить только некоторые из ее основных положений.

При рассмотрении выразительных свойств цвета мы установили необходимые конкретные условия и отношения, которые могли бы выявить в каждом цвете характерную для него выразительность.

Характер и воздействие цвета определяются его расположением по отношению к сопутствующим ему цветам. Цвет никогда не бывает одинок, он всегда воспринимается в окружении других цветов.

Чем дальше по цветовому кругу один цвет удален от другого, тем сильнее они контрастируют друг с другом. Однако ценность и значение каждого цвета в картине определяется не только окружающими его цветами. Качество и размеры цветowych плоскостей также чрезвычайно важны для впечатления, производимого тем или иным цветом.

В композиции картины важно также место расположения цвета и направление цветowych пятен. Синий цвет в композиции производит различное впечатление в зависимости оттого, расположен ли он в верхней или нижней части картины, слева или справа. В нижней части композиции синий цвет тяжел, в верхней же кажется легким. Темно-красный цвет в верхней части картины производит впечатление чего-то тяжелого, неминуемого и грозного, а в нижней — он кажется спокойным и само собой разумеющимся. Желтый в верхней части произведения производит впечатление легкости и невесомости, в нижней же — он бунтует словно в заточении.

Одной из самых существенных задач композиции является обеспечение равновесия цветовых масс. Подобно тому, как коромыслу весов для равновесия нужна точка опоры, так и в картине необходима вертикальная ось равновесия, по обе стороны которой распределяется «вес» цветовых масс.

Существуют различные способы акцентирования направлений внутри пространства картины — горизонтальные, вертикальные, диагональные, круговые или их сочетания. Каждое из этих направлений имеет свой особый выразительный смысл. «Горизонтальное» — подчеркивает тяжесть, протяженность пространства и его ширину. «Вертикальное» является полной противоположностью «горизонтальному» и выражает легкость, высоту и глубину. Точка пересечения горизонтали и вертикали предстает особо акцентированным местом. Оба эти направления носят плоскостной характер и при одновременном использовании создают чувство равновесия, прочности и материальной устойчивости.

«Диагональные» направления создают движение и развивают пространство картины в глубину. В «Воскресении» Грюневальда диагональное расположение одеяний отрывает наш взгляд от горизонтально построенного переднего плана и уводит его вверх, погружая в созерцание сияющего торжества.

Живописцы эпохи барокко с помощью диагоналей добивались в своих фресках иллюзий глубокой перспективы. Эль Греко, Лисе и Маульпертш, используя в своих работах контрасты направлений в движении цвета и форм и отдавая предпочтение диагональным мотивам, достигали особой экспрессивной выразительности.

Китайские живописцы наряду с вертикальными осями сознательно использовали и движение по диагонали, чтобы уводить взор зрителя в глубины ландшафта, причем эти диагонали часто терялись в заоблачных далях.

Кубисты использовали диагональные ориентации и треугольники с совершенно иными целями усиления впечатления рельефной глубины работ.

Круг, принадлежащий к «циркульным» формам, заставляет зрителя концентрировать свое внимание и одновременно вызывает ощущение движения.

Превосходным примером кругового движения может служить композиционное решение облаков в картине Альтдорфера «Победа Александра», которое повторяет и усиливает динамику батальной сцены.

Тициан во многих своих картинах использовал контрасты светлых и темных тонов как в горизонтальных, так и в вертикальных направлениях. В связи с чем этот его прием стал называться «формулой Тициана». С этой же целью он размещал в композиции фигуры в диагональном или круговом движении.

Одна из особенностей нашего зрения заключается в том, что оно склонно объединять подобное с подобным и воспринимать их вместе. Эти тождества фиксируются в цвете, в размерах, в сравнении темных пятен, в фактурах и в акцентированных центрах композиций. На основе этих подобий в глазах зрителя при рассматривании произведения образуется своеобразная «конфигурация», свой образ. Его можно считать «симультаным», ибо этот образ возникает на основе умозрительного объединения зафиксированных подобий и не имеет материальной выраженности. Симультаные формы могут возникать даже при обозрении двух участков различного цвета и размера.

С другой стороны, глаз, склонный видеть одинаковые цвета вместе, в ситуации сложного колорита может порождать сразу несколько симультаных образов. От характера направлений и расстояний симультаных форм зависит общее воздействие композиции. Все возникающие симультаные формы должны занимать по отношению друг к другу свое определенное положение. Тот факт, что тождества создают свои симультаные формы, означает появление в картине еще и дополнительных систем порядка и разграничения. То есть совершенно так же, как человеческое сообщество объединяет людей по принципу родства крови, мировоззрениям или общественному положению, так и родственные тождества в картине определяют ее собственный внутренний порядок.

Порядок в картине кроме этого может быть достигнут и за счет организации холодных и теплых, светлых и темных цветовых групп в четко определенные пятна и массы. Предпосылкой удачной композиции является ясное и четкое расположение и распределение главных контрастов. Совсем особое значение в организации картины имеет согласованность направлений или параллелей. С их помощью могут быть связаны между собой самые разные изобразительные группы.

Когда цвет используется как масса или пятно, он может быть усилен посредством так называемых «перемещений». Красный и зеленый цвет образуют две массы, которые могут быть внедрены одна в другую, и если часть красного перемещается на зеленый, то и часть зеленого должна войти в красное. Главное, чтобы эти перемещения масс и пятен не разрушали ни друг друга, ни основного замысла.

Столь же важно решить, должна ли цветовая форма быть статичной, динамичной или свободно парящей. Так, одна форма может свободно парить в пространстве и не быть ничем связанной. Подобная же форма может быть «прикрепленной» слева и справа к краям картины, или к верхнему, или нижнему ее краю, или сразу к обоим. Это «прикрепление» называется «растяжением» цвета или формы. В настенной живописи этот прием имеет важное значение для стабилизации композиции. И это особенно заметно во фресках Джотто.

Та же самая устойчивость может быть достигнута и за счет подчеркивания вертикалей или горизонталей внутри любой свободной формы. Эти акценты, благодаря их параллельности краям картины, также обеспечивают чувство устойчивости. Построенные по такому принципу картины кажутся замкнутыми в себе мирами. В тех же случаях, когда подобное отчуждение нежелательно и картина должна быть объединена с окружающим миром и бесконечностью его форм и цвета, границы произведения не акцентируются и картина komponируется по возможности без акцентирования четко выраженной направленности ограничивающих линий.

Здесь было перечислено много способов создания цветовых композиций. Однако при реализации замысла поток интуитивных ощущений не должен сдерживаться строгими правилами, поскольку замыслы всегда не столь однозначны.

3.4.4. Цветовой шар

Представление о возможностях проявления цвета в его семи контрастах, позволяет теперь наглядно выстроить ясную общую систему мира цвета в целом.

Для этого воспользуемся ранее приведенным двенадцатичастным цветовым кругом показанным на рис.3.8, который базировался на трех основных цветах — желтом, красном и синем в их постепенном переходе от одного к другому (рис.3.77).



Рис. 3.77.

Однако, эта схема недостаточна для всеобъемлющего обзора всей цветовой системы. Вместо круга здесь необходим тот самый шар, который уже Филиппом Отто Рунге был представлен как наиболее подходящая форма для проведения цветовой систематизации. Шар является элементарной объемной и симметричной формой, позволяющей наиболее

полно выразить многообразные свойства цвета. Он позволяет составить отчетливое представление о законе дополнительных цветов и наглядно показать все основные взаимоотношения хроматических цветов, а также их взаимодействие с черным и белым цветом. Если мы представим себе цветовой шар прозрачным, в каждой точке которого находится определенный цвет, то у нас сразу появится возможность представить все цвета в их взаимоподчиненности. Каждая точка шара может быть определена с помощью своего меридиана и своей параллели. Для отчетливого представления о цветовом порядке нам понадобится шесть параллелей и двенадцать меридианов.

На поверхность шара мы наносим шесть параллелей, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга и образующих семь зон, и перпендикулярно к ним, от полюса к полюсу, проводим 12 меридианов. В экваториальной зоне, в двенадцати одинаковых секторах располагаются все чистые цвета двенадцатичастного цветового круга. Полярные зоны покрываются белым цветом в верхней части и черным — в нижней. Между белым цветом и экваториальной зоной каждого чистого цвета последовательно располагаются две ступени его освещения. От экваториальной зоны в сторону темного полюса мы также даем к каждому чистому цвету по две, но теперь уже затемненные ступени. Поскольку каждый из двенадцати чистых цветов имеет свою картину перехода от светлого к темному, то ступени по направлению к белому и черному цвету должны быть рассчитаны для каждого цвета отдельно. Чистый желтый цвет, например, очень светел и поэтому его два осветленных тона очень близки между собой, в то время как оба затемненных — очень далеки друг от друга. Фиолетовый цвет — самый темный из чистых цветов и его осветленные оттенки значительно отдалены один от другого, в то время как затемненные — очень близки. Каждый из двенадцати цветов должен быть осветлен и затемнен исходя из его основного характера. Таким образом мы получаем два осветленных и два затемненных цветовых круга, в каждом из которых различные цвета обладают различной светлотой. Так, в первом поясе освещения желтый цвет будет намного светлее фиолетового, то

есть в каждом поясе все двенадцать цветов не имеют одинаковой светлоты.

Поскольку цветовой шар нельзя показать при иллюстрировании в трех измерениях, то мы вынуждены спроецировать его сферическую поверхность на плоскость. Если посмотреть на этот шар сверху, то в его центре мы увидим белую зону, которая заключена между двух поясов осветленных оттенков, и половину экваториальной зоны чистых цветов. Глядя же на цветовой шар снизу, увидим в центре черную зону, затем две, прилегающие к ней затемненные зоны и половину экваториальной части чистых цветов.



Рис. 3.78.

Для того чтобы сразу увидеть всю поверхность цветового шара, мы должны представить себе более темное полушарие разрезанным по меридианам и спроецированным на плоскости. В результате мы получаем двенадцатиконечную звезду, показанную на рисунке 3.78. В ее центре находится белый цвет. К нему примыкают зоны осветленных, за которыми следуют зона чистых и две зоны затемненных цветов, с черным цветом на самом конце лучей этой цветовой звезды.



Рис.3.79.



Рис.3.80.



Рис.3.81.



Рис.3.82.

На рисунке 3.79 мы видим общую поверхность цветового шара. В ее экваториальной зоне расположены чистые цвета, которые постепенно в два этапа осветляются и сливаются с белым поясом. Тоже происходит и в противоположном «полушарии», где чистые цвета также постепенно в два этапа затемняются и переходят в черный цвет. На рисунке 3.80 подобный же процесс показан на обратной стороне шара и вся его поверхность, таким образом, становится полностью охваченной.

Если же мы хотим понять, что происходит внутри шара, то должны произвести его рассечение.

На рисунке 3.81 дается горизонтальное сечение цветового шара по экватору, где мы замечаем зону нейтрального серого цвета в центре и кольцо из чистых цветов по внешней стороне. В двух зонах между чистыми цветами и серым идут мрачные тона смесей дополнительных цветов. Если мы возьмем два противоположных цвета экваториальной зоны, то получим все степени затемнения, дополнительных цветов которые представлены на рисунках 3.83 - 3.88. Подобные поперечные сечения могут быть произведены по линии любых пяти поясов шара.



Рис.3.83.



Рис.3.84.



Рис.3.85.



Рис.3.86.

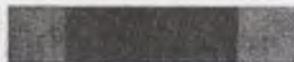


Рис.3.87.



Рис.3.88.

В центре шара по его вертикальной оси от белого полюса к черному проходит ряд серых тонов. Наше изображение ограничивается семью ступенями осветления, и поэтому четвертая ступень серых тонов должна соответствовать среднему серому тону между белым и черным, причем этот серый цвет образует середину шара. Подобный же серый цвет может быть получен путем смешивания любых двух дополнительных цветов.

На рисунке 3.82 показано вертикальное сечение цветового шара по цветовой зоне красно-оранжевый — сине-зеленый. В экваториальной части этого сечения слева располагается сине-зеленый цвет и справа — красно-оранжевый в их предельной насыщенности. Затем в сторону центральной оси идут по две ступени их смешанных вариантов, а вся экваториальная цепочка в целом постепенно осветляется к белому полюсу и затемняется — к черному. Следует обратить внимание на то, что степень осветления и затемнения ступеней должна быть равной и соответствовать серому тону каждой ступени.

Упражнения с цветовыми градациями в горизонтальных и вертикальных сечениях совершенствуют наше представление о цвете. В горизонтальных рядах организуются чистые цвета, в вертикальных даются их градации в сторону осветления и затемнения. Эта систематизация позволяет развить нашу чувствительность к цвету, как с точки зрения его восприятия,

так и с точки зрения ощущения степеней освещенности и затемненности цвета.

Цветовой шар дает возможность представить:

- чистые спектральные цвета, расположенные по экватору сферической поверхности;
- смешанные цвета дополнительных пар, расположенные в горизонтальных сечениях;
- смеси любых пар дополнительных цветов, осветлённых по направлению к белому полюсу и затемненных по направлению к черному.

Предположим, что мы имеем магнитную стрелку, закреплённую в центре цветового шара. Если мы направим конец стрелки на какую-либо точку шара, то другой ее конец будет направлен на симметричную точку и цвет, дополнительный к первому. Если конец стрелки будет указывать на вторую ступень светлоты красного цвета, а именно — на розовый цвет, то другой конец стрелки будет указывать на такую же ступень затемненного дополнительного зеленого цвета. Если мы направим конец стрелки на вторую затемненную ступень оранжевого цвета, а именно — на коричневый цвет, то другой конец магнитной стрелки укажет нам вторую ступень освещения синего цвета. Таким образом, мы узнаем, что не только противоположные цвета, но и ступени их светлоты находятся в тесной взаимосвязи друг с другом.

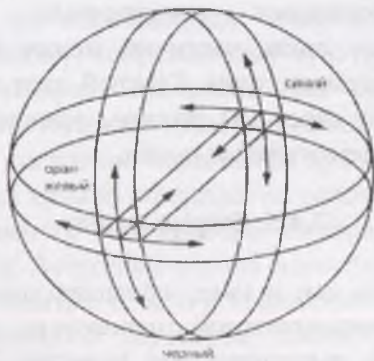


Рис. 3.89.

На рисунке 3.89 показаны пять основных способов перехода между двумя контрастирующими цветами. Если мы хотим работать с парой дополнительных цветов, например, оранжевым и синим, и начнем искать цвета, которые их объединяют, то мы должны сначала локализовать оба эти цвета на цветовом шаре. Оранжевый, расположенный на экваториальной линии, будет двигаться к красному и далее к фиолетовому, это в одном направлении, а в другом — к желтому и зеленому, переходя в синий. Это — горизонтальные варианты движения цвета. Но тот же самый оранжевый, следуя по меридиану, будет объединяться с синим через светло-оранжевый, белый и светло-голубой, это в одном направлении, а в другом — через темно-оранжевый, черный и темно-синий. И это — вертикальный путь их взаимосвязи.

Если следовать от оранжевого к синему по диаметру цветового шара, то оба дополнительных цвета могут быть соединены с помощью серого цвета или других смесей оранжевого с синим в следующем порядке: оранжево-серый, серый и сине-серый. И это — диагональный путь их взаимодействия. Эти пять главных направлений будут являться самыми кратчайшими и простейшими линиями соединения двух дополнительных цветов.

Если предположить, что данная систематизация устраняет все трудности в овладении цветом, то это не так. Мир цвета обладает невероятными внутренними возможностями, богатство которых лишь частично может быть сведено к элементарной систематизации. Каждый цвет сам по себе есть целый космос. Но здесь мы должны удовлетвориться лишь изложением его элементарных основ.

3.4.5. Форма и цвет

Форма, так же как и цвет, обладает своей «чувственно-нравственной» выразительной ценностью. В живописном произведении эти выразительные качества формы и цвета должны действовать синхронно, то есть форма и цвет должны поддерживать друг друга.

Как для трех основных цветов — красного, желтого и синего, так и для трех основных форм — квадрата, треугольника и круга должны быть найдены присущие им выразительные характеристики.

Квадрат, основной характер которого определяется двумя горизонтальными и двумя вертикальными пересекающимися линиями одинаковой длины, символизирует материю, тяжесть и строгое ограничение. В Египте квадрат служил иероглифом слова «поле». И понятно, почему мы чувствуем сильное напряжение, если хотим заставить прямые стороны и прямые углы квадрата выразить движение. Все формы, построенные на горизонталях и вертикалях, носят характер уквადраченных форм, включая сюда крест, прямоугольник, меандр и их производные.

Квадрату соответствует красный цвет как цвет материи. Тяжесть и непрозрачность красного цвета согласуется со статикой и тяжелой формой квадрата.

Форма треугольника возникает из трех пересекающихся диагоналей. Его острые углы кажутся боевыми и агрессивными. К треугольнику причисляются все формы диагонального характера, как, например, ромбы, трапеции, зигзаги и их производные. Треугольник — символ мысли и его невесомый характер соответствует светло-желтому цвету.

Круг — это геометрическая форма, которая возникает при движении на постоянном расстоянии от определенной точки, расположенной на какой-нибудь поверхности. В противоположность тяжелому, напряженному чувству движения, которое вызывает квадрат, движение для круга естественно, постоянно и создает чувство отдыха и ослабления напряжения. Круг — символ постоянно подвижной духовности. В древнем Китае планировка храмов строилась на основе круга, в то время как дворец земного императора возводился на основе квадратных форм. Астрологическим символом солнца является круг с точкой в центре. К кругу причисляются все изогнутые формы кругообразного характера, такие как эллипс, овал, волнообразные формы параболы и их производные.

Непрерывному движению круга в области цвета соответствует синий цвет.

В целом можно сказать, что квадрат — это символ неподвижной материи, треугольник, излучающий себя во все стороны, является знаком мысли, а круг — вечное движение духа.

Если для цветов второго порядка попытаться подыскать соответствующие им формы, то для оранжевого — это будет трапеция, для зеленого — сферический треугольник и для фиолетового — эллипс (рис. 3.90).

Подчиненность определенного цвета соответствующей ему форме предполагает некий параллелизм. Там, где цвет и форма согласованы в своей выразительности, их воздействие на зрителя удваивается. Картина, воздействие которой определяется главным образом цветом, должна строиться на подчинении формы цвету, а картина, в которой художник придает главное значение форме, в своем цветовом решении должна идти от формы.

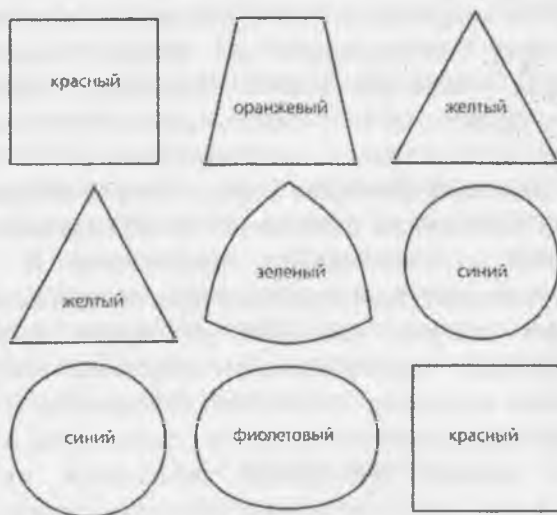


Рис. 3.90.

Кубисты уделяли особое внимание проблемам формы и поэтому относились к цвету редуцированно, уменьшая в своих картинах количество используемых ими цветов. Экспрессионисты и футуристы в равной степени проявляли интерес и к форме, и к цвету. Импрессионисты и ташисты предпочитали форме цвет.

То, что говорилось о субъективном отношении к цвету, применимо и к форме. Каждому человеку в соответствии с его конституцией присуще предпочтение определенным формам. И неслучайно графологи обстоятельно исследуют связи между субъективными формами почерка и личностью писавшего. Однако в рукописном шрифте могут проявить себя только некоторые субъективные факторы.

В древнем Китае восхищались шрифтами, имевшими субъективно оригинальный характер. Но больше всего ценились шрифты, в которых оригинальность и гармония были уравновешены.

То же ценилось и в рисунках тушью. Лян Кай и другие большие мастера сделали следующий шаг. Интерес к «оригинальности и индивидуальности стиля» уступил место поиску абсолюта и решению каждой темы на основе общедействующих средств выразительности. Характер письма у Лян Кай настолько различен, что нужны большие усилия, чтобы определить его авторство. Субъективный характер формы преодолевался им во имя высшей объективной правды.

В искусстве живописи имеется множество объективно обусловленных возможностей. Они открываются и в построении пространства, и в распределении акцентов, и в свободном выборе форм и поверхностей с их колоритом и текстурой.

В европейской живописи к объективности в цвете и форме стремился Маттиас Грюневальд. В то время как Конрад Витц и Эль Греко были чрезвычайно объективны, прежде всего, в колорите, но предельно субъективны в передаче форм. Жорж де ла Тур субъективно работал и с цветом, и с формой, так же как и Ван Гог, предпочитавший формальную и цветовую субъективность.

3.5. Характеристики цвета объекта съемки

3.5.1. Общие замечания о понятиях «свет» и «цвет»

Понятие «свет» имеет два толкования. В учебниках физики светом принято называть лучи только видимого участка лучистой энергии. Но иногда понятие света расширяют и относят его ко всей лучистой энергии, излучаемой источником, включая невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, находящиеся в едином потоке с видимыми лучами.

Расширенное понятие света имеет практический смысл в работе кинооператора, где никогда не приходится иметь дело только с видимыми излучениями источников света. Также и отражательная способность объектов съемки не касается только видимых лучей и должна учитываться оператором в полном ее объеме, если спектральная чувствительность пленки захватывает зоны невидимых лучей.

Таким образом, понятие операторского киноосвещения не может относиться только к видимым лучам. Невидимые лучи участвуют в общем фотографическом эффекте действия света. Они составляют для кинооператора такое же средство изобразительного решения кадра, как и видимые.

Соответственно этому и понятие «цвет» может существовать в двух смыслах. Обычно его принято относить только к видимому участку спектра. Если два световых потока при их визуальном сравнении выглядят одинаково, они считаются одинакового цвета, хотя их спектральные составы могут быть и разными. В дальнейшем мы будем называть цветом качества света, позволяющие зрительно отличать один цвет от другого.

3.5.2. Понятие цвета объекта съемки

Когда говорят о цвете объекта, имеют в виду либо цвет окраски его поверхности, который мы можем видеть только при белом равномерном освещении, либо тот его цвет, который образуется отраженным излучением в условиях не белого освещения, а также неравномерного.

Для разделения этих принципиально разных понятий цвета объекта мы условимся пользоваться в дальнейшем выражениями «цвет окраски» и «цвет излучения». Например, белая гипсовая модель, освещенная красным светом, имеет цвет окраски белый, а цвет излучения — красный. Неравномерное освещение ведет к образованию цветов излучений различной яркости, то есть к образованию разных цветов.

Во всех случаях под выражением «цвет объекта», мы условимся понимать цвет излучения и если речь будет идти только об окраске, это будет всегда оговариваться. Разумеется, при белом освещении цвет излучения совпадает с цветом окраски.

3.5.3. Описательные характеристики цвета окраски тел

Для описания цвета окрасок поверхностей применяются три основные характеристики **СВЕТЛОТА**, **ЦВЕТОВОЙ ТОН** и **НАСЫЩЕННОСТЬ**. Совокупность последних двух называется цветностью.

Цветностью обладают не все цвета, а только **ХРОМАТИЧЕСКИЕ**. Цвета, не имеющие цветности (то есть бесцветные), называются **АХРОМАТИЧЕСКИМИ**. К ахроматическим относятся все белые, серые и черные цвета окрасок, обладающие только светлотой.

Понятие «цвет» и «цветность», следовательно, разные. Цветность является частной характеристикой цвета и не исчерпывает полную его характеристику.

3.5.4. Светлота

Светлотой называется свойство окрасок поверхностей, позволяющее разделять их на светлые и темные. Светлота окраски характеризует видимую глазом отражательную способность поверхности тела, которую можно сравнивать с отражательной способностью других тел, находящихся в таких же условиях освещения.

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

Светлота является постоянной характеристикой цвета окраски независимой от величины освещенности тела и означает, по существу, то же самое, что и коэффициент отражения.

Таблица 3.1.

Светлота некоторых поверхностей (в %)

Побелка стен свежая	80	Асфальт сухой	20
Кожа человека белая	30 - 50	Асфальт мокрый	10
Кожа человека смуглая	20 - 30	Черная оберт. бумага	4 - 5
Средне-серая окраска	16 - 20	Черное сукно	2
Тело чернокожего	8 - 15	Черный бархат	1

Светлоту называют иногда «относительной яркостью», на том основании, что она определяется сравнением яркости окраски с яркостью белой поверхности в одинаковых условиях освещения. Такое название вполне правомерно, но следует иметь в виду, что термин «относительная яркость» часто применяется к разным случаям сравнения яркостей, не имеющим отношения к понятиям светлоты в смысле % отражения, например, при сравнениях самосветящихся тел или цветов излучений.

3.5.5. Цветовой тон

Цветовым тоном называется основная характеристика хроматического цвета, даваемая ему в таких названиях как красный, зеленый, желтый, пурпурный и т. п. Названия эти даются на основании сходства хроматических цветов с цветами спектра. Исключение составляет лишь пурпурный цвет, отсутствующий в спектре, но существующий в природе.

Обозначается цветовой тон греческой буквой λ , (лямбда) и выражается численно длиной волны того спектрального цвета, с которым данный цвет имеет наибольшее сходство. Иногда вместо λ применяется обозначение — ДДВ, что значит «доминирующая длина волны».

Выражается цветовой тон длиной волны в нанометрах (нм).

Цветовой тон участков спектра (в нанометрах): фиолетовый—390-450, синий — 450-480, голубой — 480-510, зеленый — 510-550, желто-зеленый — 550-575, желтый — 575-585, оранжевый — 585-620, красный — 620-760.

Цветовой тон пурпурных цветов, отсутствующих в спектре, условно выражается длиной волны дополнительных им зеленых цветов, взятой со знаком минус.

Практически границами видимого спектра считают 400 и 700 нм.

Понятие «цветовой тон» не имеет никакого отношения к понятию «тон».

3.5.6. Насыщенность

Насыщенностью называется степень выражения цветового тона, то есть степень близости цвета к чистому спектральному или к ахроматическому той же светлоты.

Наиболее сильно цветовой тон выражен в спектральных цветах, поэтому их принято считать самыми насыщенными. Цвета со слабым выражением цветового тона называются слабонасыщенными.

К слабонасыщенным цветам окрасок относятся, например, бледные колера покрасок декораций при сильной разбелке красок белилами, а также темные колера при большой примеси черной краски.

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

Термин «чистота», относящийся к тому же качеству цветов что и насыщенность, более удобен в измерительном

цветоведении, где им принято называть долю спектрального цвета в смеси с белым, которая дает цвет, равный измеряемому.

Ахроматическим цветам, не обладающим цветностью, приписывается насыщенность равная нулю. В физике аналогичный прием применяется к телам, находящимся в покое, которым приписывается нулевая скорость.

3.5.7. Характеристики цветов излучений и самосветящихся тел

Окружающие нас тела с разнообразной окраской поверхности не всегда находятся в условиях белого освещения. Кроме того, интенсивность их освещения непрерывно меняется. Следовательно, цвета объектов не обладают таким постоянством, как цвета их окрасок и варьируют в зависимости от величины освещенности и цветности освещения. Например, черная бумага объективно светлее (ярче) белой, если она освещена солнцем, а белая находится в тени. Светлота же черной бумаги (% отражения) всегда будет оставаться меньше белой.

Таким образом, при обсуждении цветов излучений понятие светлоты уже исключается из цветовых характеристик, как относящееся только к окраске, и заменяется понятием **ЯРКОСТИ**, существенно отличающемся от светлоты.

Оценка же цветности цветов ведется во всех случаях по цветовому тону и насыщенности.

3.5.8. Яркость

Термин «яркость» из области фотометрии вполне правомерно переходит в цветоведение, где выступает в роли важнейшей характеристики цвета объекта, имеющей первостепенное значение в практической экспонетрии.

Мы представляем яркость как интенсивность свечения тела и, следовательно, как количественную характеристику цвета. При этом не имеет значения, светится ли тело собственным светом или отраженным.

Яркость поверхности светящейся отраженным светом прямо пропорциональна интенсивности освещения (освещенности) и коэффициенту отражения (светлоте). Для вычисления ее служит формула:

$$B = E \cdot \rho, \quad (3.1)$$

где B — яркость (в апостильбах), E — освещенность в люксах и ρ коэффициент отражения поверхности.

Как мы видим, существенное отличие яркости от светлоты состоит в том, что яркость является переменной характеристикой цветной поверхности, зависящей от ее освещенности, а светлота — постоянная характеристика поверхности, независящая от освещенности.

Выражение яркости в абсолютных величинах (в апостильбах или нитах) в операторской практике необязательно. Возможно применение любой системы относительных единиц удобных для экспонетрических расчетов.

Необходимо подчеркнуть, что понятие яркости должно связываться с представлением, о каком-либо приемнике света. В практике киноъемок мы имеем дело с тремя приемниками — глазом, экспонетром и киноплёнкой. В соответствии с этим мы различаем яркости: визуальную, фотометрическую и фотографическую.

Величина каждой из этих яркостей зависит от совокупности двух факторов — энергетической яркости цвета и спектральной чувствительности приемника. В общем виде аналитическое выражение яркости представляется формулой:

$$B_{\lambda} = B_{\lambda \text{эн}} \cdot S_{\lambda \text{пр}}, \quad (3.2)$$

где B_{λ} — величина спектральной яркости по оценке данным приемником; $B_{\lambda \text{эн}}$ — спектральная энергетическая яркость цвета; $S_{\lambda \text{пр}}$ — спектральная чувствительность приемника.

Зная, что энергетическая яркость цвета поверхности, светящейся отраженным светом может быть представлена в виде:

$$B_{\lambda\text{эн}} = E_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda}, \quad (3.3)$$

где E_{λ} — кривая спектрального состава освещенности; ρ_{λ} — кривая спектральной отражательной способности тела, можно спектральную яркость цвета поверхности представить в более развернутом общем виде:

$$B_{\lambda\text{эн}} = E_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda} \cdot S_{\lambda\text{лр}}. \quad (3.4)$$

Пользуясь понятием светлоты цветной поверхности, необходимо знать более точную связь его с понятием коэффициента отражения и коэффициента яркости. Последние два понятия часто смешивают, а между тем они различны.

Коэффициент отражения (ρ), называемый иногда «альбедо» — это отношение полного светового потока, отраженного поверхностью во всех направлениях, ко всему потоку, упавшему на нее.

$$\rho = F_{\text{отр}} / F_{\text{пад}}. \quad (3.5)$$

Коэффициент яркости (γ) — это отношение яркости данной поверхности, наблюдаемой в данном направлении и при данных условиях освещения, к яркости идеально белой матовой поверхности, находящейся в тех же условиях освещения.

$$\gamma = B / B_{\text{бел}}. \quad (3.6)$$

Для матовых фактур коэффициент отражения равен коэффициенту яркости. На практике к матовым фактурам с достаточным приближением можно относить клеевые покраски стен декораций и нормальную сухую кожу человеческого тела.

При фотокиносъемках в образовании яркости цветов нам более важную роль, в общем случае, играет коэффициент яркости поверхности. Но нужно помнить, что он не является постоянной величиной для нематовой фактуры, а зависит от направления ее наблюдения (то есть от точки съемки) и

расположения источников света. Коэффициент яркости может быть более единицы.

3.5.9. Тон

Для качественной характеристики цветов и их соотношений часто употребляется термин «тон». Тон можно считать, практически, синонимом визуальной яркости. По тону цвета делятся, также как и по яркости, на светлые и темные.

Понятие тон относится как к цветам окрасок, так и излучений. К понятию «цветовой тон», как было сказано, оно не имеет никакого отношения.

Применяется для качественной оценки кадра по характеру относительным площадям содержащихся в нем тонов. При преобладании в изображении светлых тонов говорят о высокой тональности, при преобладании темных — о низкой.

3.5.10. Теплые и холодные цвета

При описании цветов нередко употребляют выражения «теплый» и «холодный» цвет.

Такие характеристики даются по ассоциации цветов с теплом или холодом. К теплым относятся цвета красные, оранжевые (цвет огня), желтые, во всех их разновидностях по насыщенности, а также желто-зеленые. К холодным — фиолетовые, синие, голубые и зеленые с синеватым оттенком. Говорят, например, о картинах, написанных в теплых тонах или в холодных, судя по преобладанию тех или других. Пурпурные цвета иногда называют холодными красными.

Контрольные вопросы

1. Как человеческий глаз видит цвета.
2. Определение основных цветов.
3. Аддитивный и субтрактивный цвет.
4. Цветовые модели.
5. Хранение изображений в компьютере.
6. Представление цветовой гаммы.

7. Смешивание цветов.
8. Выбор цвета.
9. Манипуляции с цветом.
10. Определение цветов и калибрация.
11. Определение понятия цвета. Его измерение.
12. Система CIE RGB.
13. Нереальные цвета.
14. Система CIE XYZ.
15. Контраст по цвету.
16. Контраст светлого и темного.
17. Контраст холодного и теплого.
18. Контраст дополнительных цветов.
19. Симульный контраст.
20. Контраст по насыщенности.
21. Контраст по площади цветowych пятен.
22. Теория цветowych впечатлений.
23. Теория цветовой выразительности.
24. Композиция.
25. Цветовой шар.
26. Форма и цвет.
27. Общие замечания о понятиях «свет» и «цвет».
28. Понятие цвета объекта съемки.
29. Описательные характеристики цвета окраски тел.
30. Светлота.
31. Цветовой тон.
32. Насыщенность.
33. Характеристики цветowych излучений и самосветящихся тел.
34. Яркость.
35. Тон.
36. Теплые и холодные цвета.

ГЛАВА 4. ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА

4.1. Фотографическое цветовоспроизведение. Основные понятия и термины

4.1.1. Тоновоспроизведение и цветовоспроизведение

Термины «тоновоспроизведение» и «цветовоспроизведение» нередко употребляются как синонимы, однако это допустимо только при черно-белых съемках, где цветопередача объекта сводится только к тонопередаче цветов, то есть к воспроизведению лишь яркостных различий цветов — различий их по тону. При цветных же съемках в задачу цветовоспроизведения входит воспроизведение цветов по всем трем их параметрам — яркости, цветовому тону и насыщенности. (Яркость цвета имеется в виду лишь относительная, как и в черно-белом процессе). Таким образом, в цветном кино задача цветовоспроизведения имеет две части: воспроизведение тонов и воспроизведение цветностей. Обе эти части находятся в неразрывной связи, так как возможность правильного воспроизведения цветности в сильной степени зависит от правильной тонопередачи объекта.

4.1.2. Точность фотографической цветопередачи

Существуют три критерия точности фотографического воспроизведения цвета: физический, физиологический и психологический.

Физической точностью воспроизведения цвета называется такая, при которой цвет объекта и его фотографическая копия одинаковы по **СПЕКТРАЛЬНОМУ СОСТАВУ**. Такая точность воспроизведения при существующих способах кино практически недостижима, и кроме того, она не имеет смысла так как наш глаз вполне довольствуется лишь визуальным тождеством цветов. А визуально одинаковые цвета, могут быть образованы различными спектральными составами света.

Физиологической точностью называется такая, при которой цвет копии и цвет оригинала при их непосредственном сравнении выглядят одинаково, то есть совпадают по цветности и относительной яркости.

Так как в данном случае преследуется лишь равенство цветовых ОЩУЩЕНИЙ (а не равенство спектров), критерий этот и получил название физиологического. Практически и эта точность недостижима при современных способах кино в их обычном производственном применении. Приблизиться к ней можно лишь при весьма тщательном проведении цветного процесса.

Психологической точностью называется такая, при которой воспроизведенные цвета по ОБЩЕМУ ВПЕЧАТЛЕНИЮ признаются вполне достоверными и оправданными изображаемой обстановкой действия, хотя объективно они могут быть искажены. Имеется в виду разновременное их наблюдение, без непосредственного сравнения копии и оригинала.

Теория цветопередачи руководствуется физиологической точностью цветовоспроизведения, практика же киносъемок — только психологической. Иначе говоря, в теории цветопередачи тождество цветов рассматривается как равенство цветовых ОЩУЩЕНИЙ, а в практике киносъемок — как равенство цветовых ВОСПРИЯТИИ.

Законы цветовых ощущений в большей степени поддаются количественному анализу, чем законы восприятий. Это позволяет применять в теории цветопередачи объективные оценки качества цветовоспроизведения и устанавливать довольно точную связь между качеством цветопередачи и техникой цветной съемки. Этот момент очень важен в научном отношении, так как устанавливаемые закономерности цветовоспроизведения должны быть свободны от субъективных противоречивых суждений.

4.1.3. Цвета в кадре первоначальные и повторные

Следует различать два рода требований к точности цветопередачи в цветном фильме. Назовем их условно так:

точность первоначального воспроизведения цвета и точность его повторного воспроизведения из кадра в кадр при монтажной съемке.

Первоначально выбранным цветом зритель вправе считать тот цвет объекта, который он увидел в первом кадре. С этим цветом ему как бы предлагается сравнивать повторные цвета того же объекта во всех дальнейших монтажно снятых кадрах. Первоначальный цвет обязывает выдерживать его до конца изображаемого действия, если обстановка действия не изменяется и не появляется какое-либо логическое оправдание перемены цвета.

Первоначальный выбор цвета в кадре относится к творческому решению изобразительной задачи, точность же повторения цвета является технической задачей, зависящей исключительно от экспонетрической техники кинооператора и от точности соблюдения технологических режимов при съемке и обработке фильма.

4.1.4. Фотографическая яркость

Если создать приемник света равночувствительный ко всем лучам спектра, то его реакции на цвет были бы пропорциональны только суммарной величине энергии, независимо от того, как эта энергия распределена по спектру. Так, например, цвета, показанные зональными диаграммами на рис. 4.1, образованные равными количествами энергии, то есть имеющие одинаковую энергетическую яркость, представились бы такому приемнику равнояркими.

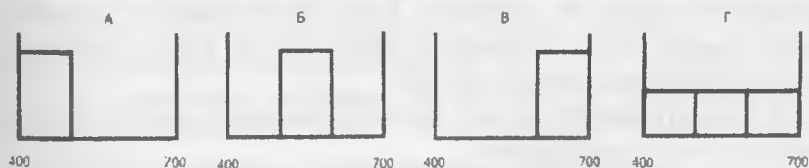


Рис. 4.1. Цвета одинаковой энергетической яркости.

Но если эти же цвета воздействовали бы на приемники с иной спектральной чувствительностью, например, глаз, фотоз-лемент или фотослой пленки, показанные примерно на рис. 4.2, то реакции этих приемников на один и тот же цвет окажутся далеко не одинаковыми. Так, например, цвет Б относительно позитивной пленки будет темным, а относительно глаза самым светлым.

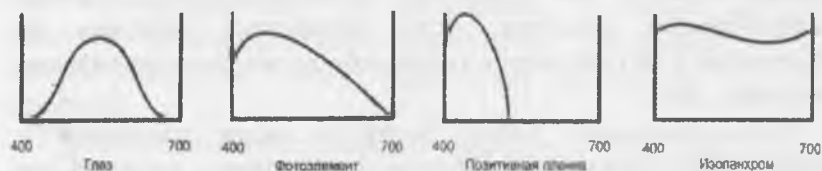


Рис. 4.2. Спектральная чувствительность различных приемников свет.

Яркость цвета, принято называть по роду приемника реагирующего на нее. В случае глаза говорят о **ВИЗУАЛЬНОЙ** яркости цвета, в случае фотозлектрического экспонометра - о **ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ**, а в случае фотослая пленки или матрицы - о **ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ** яркости.

Несмотря, на то, что реакции на цвет названных приемников разнородны по своей природе, в одном случае это ощущение, в другом — фототок, отклоняющий стрелку гальванометра, в третьем — почернение фотослая, мы все же находим способы их соизмерения. Этим занимается **ЭКСПОНОМЕТРИЯ**, позволяющая управлять фотографической регистрацией яркостей объекта по визуальным и фотометрическим их оценкам. Если фотозэлементу придать спектральную чувствительность фотослая, он будет измерять фотографическую яркость цвета.

В аналитической форме фотографическая яркость цвета представляется выражением:

$$B = B_{\text{сл}} \cdot S_{\lambda}, \quad (4.1)$$

где $B_{e\lambda}$ – энергетическая яркость цвета; S_λ – спектральная чувствительность пленки.

Зная зависимость энергетической яркости цветной поверхности от ее освещенности и отражательной способности, выражаемую формулой:

$$B_{e\lambda} = E_\lambda \cdot \rho_\lambda, \quad (4.2)$$

где E_λ – спектральная характеристика падающего на объект света (спектральный состав освещения); ρ_λ – спектральная характеристика отражательной способности тела (кривая отражения) можно, заменяя $B_{e\lambda}$ произведением $E_\lambda \rho_\lambda$ придать формуле фотографической яркости более развернутый вид:

$$B = E_\lambda \cdot \rho_\lambda \cdot S_\lambda. \quad (4.3)$$

Тогда формула фотографической яркости цвета примет более полный вид:

$$B = E_\lambda \cdot \rho_\lambda \cdot S_\lambda \cdot T_\lambda. \quad (4.4)$$

При употреблении съемочного светофильтра следует учитывать эффективную спектральную чувствительность пленки, равную произведению ее номинальной спектральной чувствительности (паспортной) на спектральное пропускание светофильтра

$$S_{эф\lambda} = S_\lambda \cdot T_\lambda. \quad (4.5)$$

Таким образом, мы отмечаем четыре основных фактора, определяющие фотографическую яркость цвета: спектральный состав освещения объекта (зависящий от цветовой температуры источника света), спектральную отражательную способность объекта, спектральное пропускание оптики и спектральную чувствительность пленки. Формула фотографической яркости приводится нами только для объяснения физического смысла понятия «фотографическая яркость

цвета». Математические символы, входящие в формулу, отображают те факторы съемочного процесса, с которыми кинооператор сталкивается в экспонетрии в своей повседневной практике. Фотографическая яркость цвета может быть представлена и графически в ее зональном разложении по спектру. Чтобы получить картину составляющих ее зональных величин достаточно перемножить зональные графики четырех основных факторов съемочного процесса — объекта съемки, освещения, оптики и пленки. Общая площадь получившегося графика будет пропорциональна величине фотографической яркости цвета объекта. Таким путем может быть легко подсчитан контраст тонов объекта в фотографическом его изображении при известных характеристиках условий съемки. Такой подсчет будет достаточно точен в первом приближении. В принципе этот метод позволяет предвидеть плотности негатива при известных условиях съемки, а по известным плотностям почернений фотослоя судить о свойствах объекта съёмки. В частности астрофизика широко пользуется подобным методом.

4.2. Спектральные характеристики цвета

Общие замечания. Все изменения цветов объекта средствами операторского освещения делаются обычно путем управления не только количеством света, но и его качеством — цветностью. Цветность же света зависит исключительно от его спектрального состава. Следовательно, зная спектральные характеристики источников света и цветных светофильтров, применяемых на осветительных приборах, оператор получает возможность предвидеть их действие при съемке цветных фактур объекта. При этом важно знать и особенности спектрального отражения цветных тел, хотя бы главнейших, наиболее часто встречающихся в практике киносъемок.

Без знания спектральных характеристик освещения и цветных тел становится беспредметным знание спектральной чувствительности киноплёнок.

4.2.1. Способы выражения спектральных характеристик цвета

Цвет с физической точки зрения характеризуется спектральным составом образующей его световой энергии.

Информация о спектральной характеристике цвета может быть дана различными способами. Можно применить табличный способ, выразив численно в абсолютных или относительных единицах величину энергии для отдельных длин волн, или отдельных участков спектра, но наиболее удобны и наглядны графические способы спектральных характеристик. В таблице 4.1 показан пример табличного способа спектральной характеристики цветного светофильтра, показанной графически на рисунках 4.3 и 4.4.

Таблица 4.1.

Длина волны, нм λ	Коэффициент пропускания, τ	Оптическая плотность, d
400	0,1	1,0
450	0,1	1,0
500	0,1	1,0
550	0,2	0,7
600	0,4	0,4
700	0,8	0,1

Наиболее точная графическая информация о спектре цвета дается в виде непрерывной кривой, показывающей величину световой энергии для каждой длины волны видимой части спектра. Но нужно иметь в виду, что форма кривой для одного и того же цвета может быть различной, в зависимости от того, какая принята разметка вертикальной оси графика оси координат. Так, например, при растянутой шкале оси ординат кривые получаются с более высокими максимумами подъема и

с более крутыми спадками, чем при сжатом масштабе, что может привести к неверному заключению о насыщенности цвета.

Существенно различаются также формы спектральной кривой одного и того же цвета в графиках с линейной и с логарифмической шкалой оси ординат.

Спектральные характеристики цвета даются обычно в виде кривых пропускания, отражения или поглощения. Если цвет относится к светофильтру, то спектральная его характеристика дается в виде кривой пропускания (рис.4.3), либо кривой поглощения (рис. 4.4). В первом случае ось ординат обозначается буквой T со значком λ и имеет разметку от 0 до 1.0.

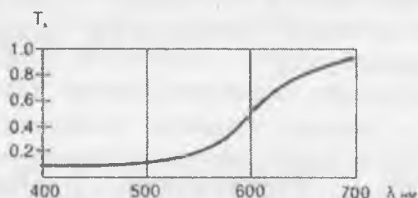


Рис. 4.3. Кривая спектрального пропускания светофильтра.

Такая кривая говорит лишь об относительном спектральном составе энергии. Во втором случае, когда дается кривая поглощения, ось ординат обозначается буквой D со значком λ (спектральная оптическая плотность) и имеет разметку обычно от 0 до 3,0. Если рассматриваемый диапазон оптических плотностей небольшой, разметка оси делается до 2,0 или до 1,0.

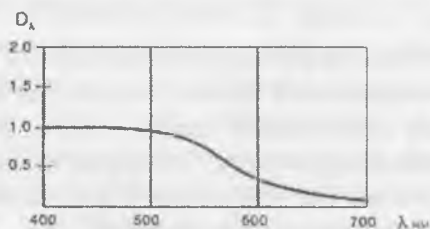


Рис. 4.4. Кривая спектрального поглощения светофильтра (того же, что на рис. 4.3).

Если цвет относится к непрозрачному телу, то он может быть охарактеризован либо кривой поглощения либо кривой отражения. Ось ординат в последнем случае обозначается буквой p и имеет разбивку от 0 до 1,0 ступенчатой диаграммы, в которой состав лучей показывается по трехзональному методу.

Спектр в такой диаграмме делится на три зоны: синюю (от 400 до 490 нм), зеленую (от 490 до 570 нм) и красную (от 570 до 700 нм). Иногда для приближенных рассуждений о цвете по зональным графикам спектр делят на три равные части по 100 нм.

4.2.2. Приближенные определения цвета по его спектральной характеристике

Спектральная характеристика ахроматического цвета выражается графически в виде прямой или слегка волнистой горизонтальной линии. Хроматические же цвета представляются на графиках в виде кривых линий с более или менее крутыми изгибами. Цветовые характеристики читаются по спектральным графикам следующим образом.

Светлота цвета определяется высотой расположения линии над осью абсцисс. Например, если на графике отражения кривая проходит на высоте ординаты 0,4, то светлота цвета равна 40%.

Название цветового тона читается по кривым пропускания и отражения по максимуму подъема кривой в части спектра с преобладающими лучами.

Насыщенность цвета читается по степени крутизны изгибов и размахов кривой на графике. Чем больше разница между минимумом и максимумом подъема кривой, тем больше насыщенность. Но следует иметь в виду, что один и тот же размах кривых у цветов разного цветового тона не всегда говорит об одинаковой насыщенности этих цветов. Например, у насыщенного зеленого максимум подъема кривой отражения ниже, чем у красного той же насыщенности. Ощущение

одинаковой насыщенности зависит в данном случае от большей чувствительности глаза к зеленым лучам спектра.

Цветовой тон по кривым поглощения определяют, наоборот, по минимальному подъему кривой. Насыщенность же определяют также по крутизне и глубине изгибов кривой. Чем более отлогий ход имеет кривая по всему спектру, тем менее насыщен цвет и более приближается к ахроматическому.

Сравниваться кривые должны лишь при одинаковых масштабах разметки оси ординат, так как форма спектральной кривой, как было сказано, в большой степени зависит от масштаба графика.

Чтение цветовых характеристик по зональным графикам значительно упрощается.

Примеры анализа цвета по зональным графикам приведены на рис. 4.5.

а) Желтый насыщенный. Состоит из смеси равных количеств зеленых и красных лучей. Отсутствие лучей в одной зоне указывает на отсутствие разбелки цвета — признак высокой насыщенности или чистоты.

б) Красный слабонасыщенный.

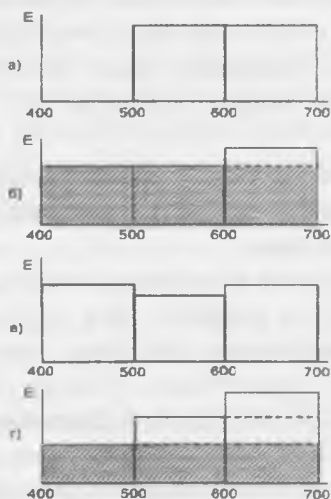


Рис. 4.5. Зональные диаграммы спектров различных цветов.

Наименьший уровень отражения в синей и зеленой зонах определяет долю белого в данном цвете, заштрихованную на графике. Эта доля очень велика, а потому цвет представляется ненасыщенным.

в) Пурпурный, слабонасыщенный, почти белый

г) Оранжевый ненасыщенный. Заштрихована примесь белого. Пунктиром отделены доли чистого красного и чистого желтого, состоящего из смеси красного с зеленым.

На рис. 4.6 показан цветовой круг с названиями главнейших цветов и их спектральными составами, изображенными схематично с помощью зональных графиков.

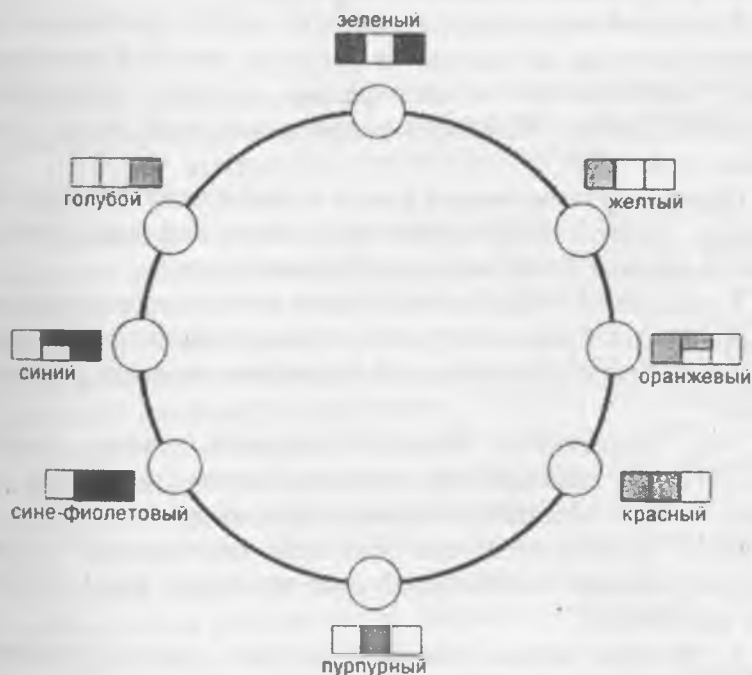


Рис. 4.6. Цветовой круг с зональными диаграммами спектров главнейших цветов.

4.2.3. Некоторые типичные цвета объектов съемки

Цвет натурной зелени. Зелень растительности, которая характеризуется обычно общим названием «зеленого» цвета, отличается большим цветовым многообразием. Ее цвета сильно варьируют по насыщенности, светлоте и оттенкам цветового тона.

Цвет зелени варьирует не только в зависимости от породы деревьев и вида трав, но и от времени года, а также от местных микроклиматических условий.

Спектральный состав типичного цвета зелени представлен на рис. 4.7а. В нем характерно следующее:

В видимой части спектра максимум энергии приходится на зеленую зону, но он обычно не достигает высоких значений, какие наблюдаются в насыщенных желтых, оранжевых и красных цветах. Максимум отражения в этой части, примерно – 0,2.

Наряду с лучами зеленой зоны в видимой части спектра, как правило, имеется значительная доля синих и красных лучей, причем красных лучей несколько больше синих.

В невидимой инфракрасной части имеется резкий подъем коэффициента отражения до очень большой величины, порядка 0,8, значительно превышающей отражение видимых зеленых лучей.

Эти особенности спектра натурной зелени имеют существенное значение при экспонировании этого цвета на черно-белых и цветных негативных материалах

Цвет человеческого лица. Типичный спектральный состав цвета нормальной человеческой кожи показан на рис. 4.7б. Для него характерно:

1. Отлогая форма кривой отражения, соответствующая малой насыщенности этого цвета.
2. Плавный подъем кривой отражения в сторону длинноволновой части спектра с заметно выраженным максимумом в красной области.
3. Тип кривой приближается к типу кривой оранжевого цвета.

4. Средняя высота подъема кривой соответствует среднему коэффициенту отражения для лица — около 40%.

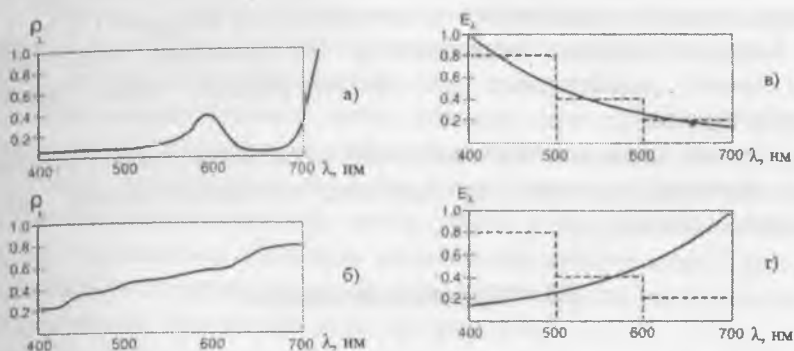


Рис. 4.7. Спектральные характеристики типичных цветов зелени, человеческого лица, голубого неба и белой фактуры, освещенной лампой накаливания.

Цвет голубого неба. Типичный спектральный состав цвета голубого неба показан на рис. 4.7в. Распределение энергии в спектре этого цвета может быть охарактеризовано по трем основным зонам спектра — синей, зеленой и красной — относительными числами 4:2:1. Такое распределение отвечает цветовой температуре, примерно, 12.000°K. Эту характерную особенность цвета голубого неба следует иметь в виду кинооператору при попытках имитировать его какими-либо средствами для целей съемки. Особенная осторожность нужна при выборе голубых осветительных светофильтров для освещения белых задников декорации «под небо», что часто требуется при монтажных до съемках павильонных объектов «под натуру».

Цвет белых фактур, освещенных лампами накаливания. Этот цвет характерен тем, что он обычно воспринимается как белый, при невозможности сравнения его с белыми предметами освещенными белым светом. Спектральный состав его указывает на сильно выраженную цветность оранжевого цвета.

Типичный спектральный состав лампы накаливания при цветовой температуре 3000°K показан на рис. 4.7г. Он может быть охарактеризован по трем основным зонам спектра — синей, зеленой и красной — относительными числами 1:2:4.

Следует обратить внимание, что это, примерно, обратный ряд чисел, характерных для рассмотренного выше цвета голубого неба.

Таковыми «белыми» цветами очень рискованно пользоваться при цветных съемках на пленках, предназначенных для дневного света.

4.3. Образование цветов

Общие замечания. Знание законов образования яркостей и цветностей помогает оператору уверенно применять свои технические средства при управлении цветовыми характеристиками объектов съемки, предвидеть результаты своих действий и находить наиболее рациональные практические решения в работе со светом и цветом.

4.3.1. Два способа смешения цветов

Все цвета в природе, за исключением спектральных монохроматических, являются смешанными, то есть состоящими из смеси спектральных лучей различного цвета.

Каждый спектральный состав света может быть изменен двумя способами: либо путем добавления к нему новых лучей, либо путем вычитания из него части лучей. В обоих случаях новый состав лучей образует новый цвет.

Первый способ образования цветов, при котором лучи складываются, называется слагательным, или **АДДИТИВНЫМ**, второй же, при котором лучи вычитаются, называется вычитательным, или **СУБТРАКТИВНЫМ**.

В практике кинооператора приходится встречаться с обоими случаями образования цветов, что обязывает знать законы, которым подчиняется тот или иной способ.

4.3.2. Три закона аддитивного смешения цветов

Первый закон. Ко всякому хроматическому цвету всегда можно подобрать другой хроматический, который в сумме с ним даст ахроматический цвет.

Два хроматических цвета, дающие при сложении ахроматический, называются взаимно-дополнительными цветами, то есть дополняющими друг друга до ахроматического. Взаимно-дополнительные цвета лежат в цветовом круге на концах диаметров. Примеры взаимно-дополнительных цветов: красный и голубой, зеленый и пурпурный, желтый и синевато-фиолетовый, оранжевый и синий (рис. 4.8).

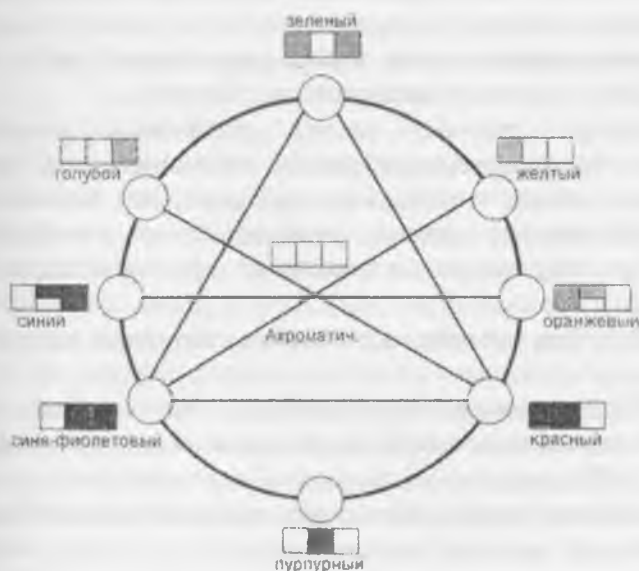


Рис. 4.8. Цветовой круг (к законам аддитивного смешения цветов).

Второй закон. Два хроматических цвета не дополнительных дают в сумме новый хроматический, лежащий в цветовом круге между ними на малой дуге. Примеры: красный плюс зеленый дают желтый, красный плюс желтый —

оранжевый, сине-фиолетовый плюс зеленый — голубой, красный плюс сине-фиолетовый — пурпурный.

Из второго закона вытекает важное практическое следствие: для того чтобы аддитивным способом можно было получить любой заданный цвет, достаточно взять за исходные только три цвета — красный, зеленый и сине-фиолетовый. Эти три цвета за такое их свойство названы **ОСНОВНЫМИ** цветами. Каждый из них по спектральному составу образован лучами примерно $1/3$ части спектра. Основные цвета, взятые в равных количествах, дают ахроматический цвет.

Третий закон. Результат аддитивного смешения зависит только от цвета смешиваемых цветов, а не от их спектральных составов. Так, например, белый цвет может быть получен смешиванием желтого и сине-фиолетового, взятых в виде либо монохроматических лучей, либо в виде пучков света тех же цветов, но со сложным спектральным составом.

Благодаря третьему закону значительно упрощается практика воспроизведения цветов сложением, так как для смешения может использоваться довольно большой ряд взаимозаменяемых цветов различных по спектральному составу, но с одинаковыми цветовыми характеристиками.

4.3.3. Три способа аддитивного смешения цветов

1). Одновременное проецирование разноцветных пучков света на одно и то же место белой отражающей поверхности.

2). Последовательное проецирование разноцветных пучков света на белый экран с достаточно высокой частотой их смен, при которой исчезает их мелькание и в глазу возникает ощущение нового цвета.

3). Расположение мелких разноцветных пятен на плоскости вплотную друг к другу и рассматривание их с достаточно большого расстояния, при котором отдельные цветовые пятна перестают различаться. Такой способ называется пространственным смешением цветов. В живописи он известен под названием «пуантель», в технике называется — растровым способом. Ощущение нового цвета возникает в тот момент,

когда размеры цветowych пятен на сетчатке глаза выходят за пределы его разрешающей способности и каждый элемент сетчатки (группа трех разноименных колбочек) возбуждается одновременно разными спектрами.

Все названные способы получения цветов находили в свое время применение в цветной кинематографии. Их принципы не потеряли своего практического значения и до сих пор. В частности, первые два используются различными системами цветного телевидения.

Цветное проекционное фотографическое изображение, полученное аддитивным способом, ввиду высокого качества цветопередачи объекта, представляет интерес, например, для рирпроекции при цветных комбинированных съемках.

4.3.4. Способы получения цветов субтрактивным смешением

К ним относятся:

1). Смешение красок в живописи, или смешение их в малярной технике при составлении колеров для окраски декораций.

2). Сложение цветных светофильтров. Каждый светофильтр поглощает, то есть вычитает из падающего света часть спектральных лучей и остаток от поглощения образует новый цвет.

3). Освещение цветных тел белым или цветным светом. При этом цветные тела действуют аналогично светофильтрам, избирательно поглощая часть лучей падающего света.

4.3.5. Изменения цвета объекта съемки в зависимости от освещения

Изменяя освещение объекта по количеству и качеству, можно в широких пределах изменять цветовые характеристики объекта съемки — яркость, цветовой тон и насыщенность.

При изменениях освещенности тел, то есть количества падающего на них света, цвета тел изменяются только по яркости.

Изменение же спектрального состава освещения ведет всегда к изменению цветности объекта, то есть цветового тона и насыщенности. При этом объекты с ахроматической окраской получают хроматический цвет, а некоторые хроматические окраски начинают выглядеть серыми, если цвет освещения дополнителен цвету окраски.

Насыщенность цвета объекта увеличивается, если цветность освещения совпадает с цветностью окраски объекта. Например, красная одежда при красном освещении получает более насыщенный красный цвет, чем при белом освещении. И наоборот, насыщенность цвета объекта уменьшается, если цветность освещения противоположна цветности объекта, то есть цветовые тона освещения и объекта взаимно дополнительны. В этом случае цветность объекта нейтрализуется и может дойти до ахроматического цвета.

Действие красного светофильтра, установленного перед прожектором, состоит не в превращении всех его лучей в красные лучи, а в гашении всех лучей, кроме красных. Об этом ясно говорит кривая спектрального поглощения светофильтра.

Свойством избирательно поглощать часть спектральных лучей обладают не только цветные светофильтры, но и любая цветная окраска поверхностей предметов. При белом освещении красная поверхность выглядит красной не потому, что она окрашивает отражаемые лучи в красный цвет, а только потому, что она поглощает все упавшие на нее лучи, кроме красных, которые она способна отражать. Таким образом при белом освещении все цветные поверхности показывают нам наглядно свою отражательную способность. Отсюда следует, что красная поверхность (способная отражать только красные лучи), каким бы светом мы ее не освещали, может выглядеть только красной или черной. Черной в том случае, если в составе падающего на нее света не будет красных лучей.

Зная этот закон, легко предвидеть изменения цвета цветных поверхностей при цветном освещении. Для этого нужно лишь ориентироваться в спектральных характеристиках источников света, цветных светофильтров и в отражательных

способностях цветных тел. Самый простой и вполне достаточный способ такой ориентировки — хорошо усвоить трехзональное построение спектра и представлять себе любой цвет как комбинацию трех зон: сине-фиолетовой, зеленой и красной.

Возможны всего три основных вида зонального построения цветов:

1). Однозональные цвета, образованные лучами только одной зоны или преимущественно одной зоны, без примеси лучей других зон или с небольшой их примесью. К ним относятся основные цвета — сине-фиолетовый, зеленый и красный. Среди них красный насыщенный является на практике наиболее строгим по чистоте.

2). Двухзональные цвета, образованные лучами только двух зон или преимущественно двух зон, с небольшой примесью лучей третьей зоны. К ним относятся желтый, пурпурный и голубой. Наиболее строгий из них — желтый.

На практике очень удобно эти три цвета именовать иначе, по отсутствующей в них зоне: желтый называть «минус синим», пурпурный — «минус зеленым», голубой — «минус красным». Удобство состоит в том, что такие названия непосредственно говорят о действии цветных светофильтров на проходящий через них свет, или о действии цветных фактур, отражающих свет.

3). Трехзональные цвета, образованные лучами всех трех зон при достаточно большом количестве лучей каждой зоны. Их цветовой тон выражен слабее, чем у двухзональных, и определяется только двумя наибольшими зонами. Третья зона, наименьшая по величине, как мы говорили, на цветовой тон не влияет, определяя лишь насыщенность цвета.

Цветовой тон цветных отражающих поверхностей может изменяться под влиянием цветного освещения только в тех пределах, которые допускает кривая отражения. В этом отношении хотя бы ориентировочные знания кинооператором спектральной отражательной способности тел чрезвычайно важны для предвидения возможных цветов объекта съемки, достижимых путем цветного освещения.

Наибольшее разнообразие цветовых тонов может быть достигнуто с помощью цветного освещения на белых и серых поверхностях, так как эти поверхности способны отражать лучи всех длин волн и имеют равное отражение во всех трех зонах.

Меньшее разнообразие цветовых тонов дают при цветном освещении поверхности, обладающие преимущественно двухзональным отражением. Типы их спектрального отражения показаны на рис. 4.9.

Например, поверхность насыщенного желтого цвета может стать при цветном освещении красной, оранжевой или зеленой, но никогда не станет синей из-за отсутствия отражательной способности в синей зоне. Слабонасыщенные же желтые окраски могут выглядеть синими при синем освещении за счет существующего у них отражения в синей зоне спектра.

Поверхности насыщенных цветов с преимущественным однозональным отражением почти не изменяются по цветовому тону при цветном освещении. Отсутствие у них отражения в двух зонах, или малая его величина, резко ограничивает возможность цветовых деформаций таких тел. Например, насыщенный красный при любом цветном освещении будет оставаться либо красным, либо переходить в серый или черный.

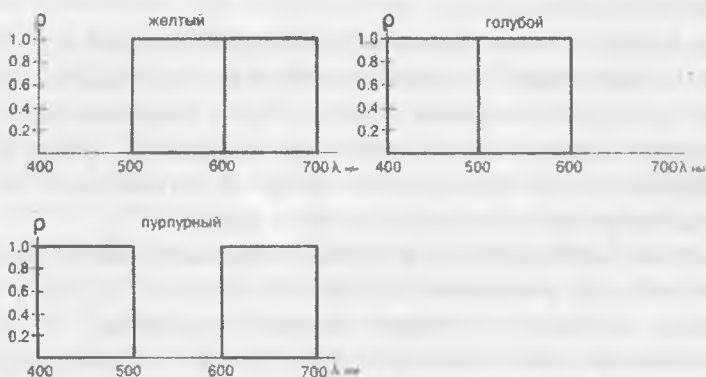


Рис. 4.9. Цвета фактур с двухзональным отражением.

Цвет отражающих поверхностей под влиянием цветного освещения изменяется по единственному закону субтрактивного смешения цветов: результат субтрактивного смешения зависит только от спектральных характеристик, смешиваемых цветов, а не от их цвета.

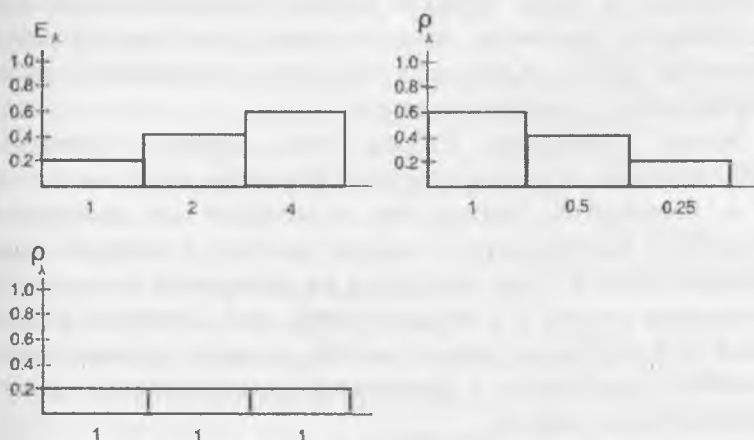


Рис. 4.10. Изменение цвета поверхности при цветном освещении.

Закон этот противоположен третьему закону аддитивного смешения, где результат смешения, наоборот, зависит только от цветов, вступающих в смесь, а не от их спектральных составов.

Изменения цвета объекта при цветном освещении могут быть точно рассчитаны, если знать спектральный состав освещения и спектральную отражательную способность объекта.

С помощью трехзональных графиков это может быть сделано наиболее просто, путем перемножения зональных величин E и ρ . Пример: (рис. 4.10).

Данный пример относится к случаю освещения голубой поверхности светом лампы накаливания, при котором данный голубой становится серым, то есть обесцвечивается. Это

Вывод: для ощущения одинаковой цветности необходим одинаковый **ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ** спектральный состав цветов. Неразличимы по цветности излучения одинаковой цветовой температуры, так как у них энергия имеет одинаковое относительное распределение по спектру.

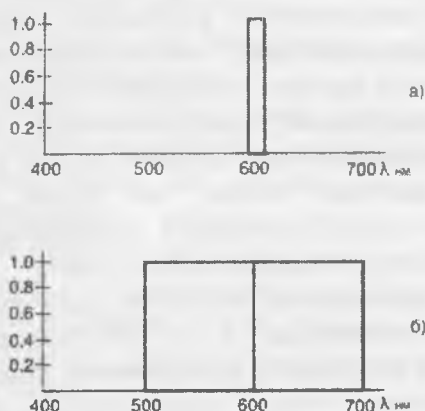


Рис. 4.12. Одинаковые цвета с разным спектральным составом.

Механизм образования цветовых ощущений одинаков как при наблюдении сложных спектральных составов света, так и простых.

На рис. 4.12 представлены два спектральных состава, простой (а) в виде монохроматического излучения одной длины волны, и сложный (б). Оба они вызывают ощущение одного и того же желтого цвета. Монохроматический свет (а), как показано на рис. 4.12, производит одинаковое возбуждение одновременно двух центров глаза, красного и зеленого. Оба возбуждения, складываясь, вызывают ощущение желтого цвета. Таков же результат возбуждения глаза и двумя широкими спектральными полосами в зеленой и красной зонах света (б).

4.3.9. Дефекты цветового зрения

Цветовое зрение может иметь дефекты, мешающие правильному цветоощущению. Они могут быть постоянными (врожденными) и временными, проходящими через более или менее короткие промежутки времени.

Постоянные дефекты вызываются ненормальным строением сетчатки глаза, а также выпадением или ослаблением функций некоторых колбочек. Глаз, вследствие этого, посылает в мозг неправильную информацию о цвете.

Временные дефекты вызываются резкими нарушениями условий работы глаза, например, засветкой глаза мощным источником света, резкой переменной освещенности, при которой глаз не успевает сразу приспособиться к новым условиям освещения.

Наиболее сильный дефект цветового зрения — полная цветовая слепота. Она объясняется отсутствием в глазу колбочек. Такому цветослепому мир представляется в ахроматических цветах, как в черно-белом кино.

Около 5% людей, преимущественно мужчин, страдают частичной цветовой слепотой. При ней из цветовых ощущений выпадают лишь некоторые хроматические цвета. По такому дефекту зрения люди разделяются на две основные группы: зеленослепых и краснослепых. Дефект этот проявляется, главным образом, в плохом различении цветов пониженной насыщенности. Например, некоторые бежевые цвета кажутся зелеными, зеленые фигуры изображенные на коричневатом фоне, или коричневые фигуры на зеленом, невидимы совершенно. В более тяжелых случаях голубые цвета не различаются от пурпурных, даже при большой насыщенности этих цветов. Последний дефект объясняется сильно пониженной чувствительностью глаза к красным лучам.

Дальтонизм — общее название расстройства цветовых ощущений. По терминологии физиологов зеленослепые называются дейтеранопами, краснослепые — протанопами.

Профессиональное цветовое зрение кинооператора должно быть свободно от каких-либо дефектов. К черно-белым съемкам это может не относиться. В отдельных случаях можно не требовать правильного цветоощущения и от кинооператора цветного фильма, если ему по роду своей работы не приходится иметь дела с цветовой организацией объекта съемки, с цветовой выборочной композицией кадра и с коррекцией цветного позитива в печати при его приеме из кинокопировальной цветной лаборатории.

4.3.10. Адаптация глаза

Адаптацией называется приспособление глаза к условиям освещения и, главным образом, к различным уровням наблюдаемых яркостей. Различают три вида адаптации: световую, темновую и цветовую.

Темновой адаптацией называется приспособление глаза к низким яркостям. Оно выражается в сильном повышении его чувствительности к свету за счет выработки в палочках сетчатки, при низких яркостях, светочувствительного вещества — зрительного пурпура (радопсина). Чувствительность глаза к свету может повыситься при этом во много тысяч раз.

Световой адаптацией называется приспособление глаза к высоким уровням яркостей. В этом случае под действием света зрительный пурпур в палочках сетчатки исчезает и функции палочек прекращаются. Работает только колбочковый аппарат глаза.

Цветовой адаптацией называется приспособление глаза к условиям цветного освещения. Результат выражается в том, что привыкнув к цветности освещения мы можем ее не замечать. Белые предметы, освещенные цветным светом, например светом свечи или керосиновой лампы, кажутся нам обычно такими же белыми, как и при дневном свете.

Адаптация глаза обуславливает переменную чувствительность глаза к свету, что вносит большие помехи в работу кинооператора со светом. В частности, визуальная экспонетрия находится в большой зависимости от адаптации

глаза, а потому часто является ненадежной. Привыкнув к высоким уровням освещения в павильоне, кинооператор может приходиться к ложным заключениям о недостатке света и, работая без экспонометра прибегать к чрезмерно большим освещенностям объекта, ведущим к передержке.

После длительного наблюдения теневых частей объекта съемки оператор может переоценить яркости объекта в светах, так как наблюдение теней повышает чувствительность глаза к свету. И наоборот, после наблюдения ярких деталей объект может показаться в тенях недостаточно освещенным.

4.3.11. Особенности зрения при низких и высоких освещенностях

Низкие освещенности влияют на зрительные ощущения в двух направлениях — на различительную способность глаза в отношении низких яркостей и на спектральную чувствительность его.

При низких освещенностях утрачивается видимая градация тонов в тенях объекта. Точно также позитив, спроецированный на экран при слабом свете фонаря проектора представляется без деталей в тенях.

Кривая спектральной чувствительности глаза при низких освещенностях перемещается к синему концу спектра. Максимум ее с 555 нм переходит, примерно, на 510 нм. Вследствие этого значительно изменяется относительная видность красных и синих цветов. При одной и той же их энергетической яркости красные при сильном дневном свете кажутся светлее синих, а вечером при слабом свете — темнее их.

Рисунок 4.13 поясняет причину этого. Если одинаково яркие красный и голубой днем ощущались в точках А и Б дневной спектральной чувствительности глаза, то эти же цвета вечером будут ощущаться в точках В и Г вечерней кривой спектральной чувствительности. Эта закономерность в ощущении цветов носит название явления Пуркинье.

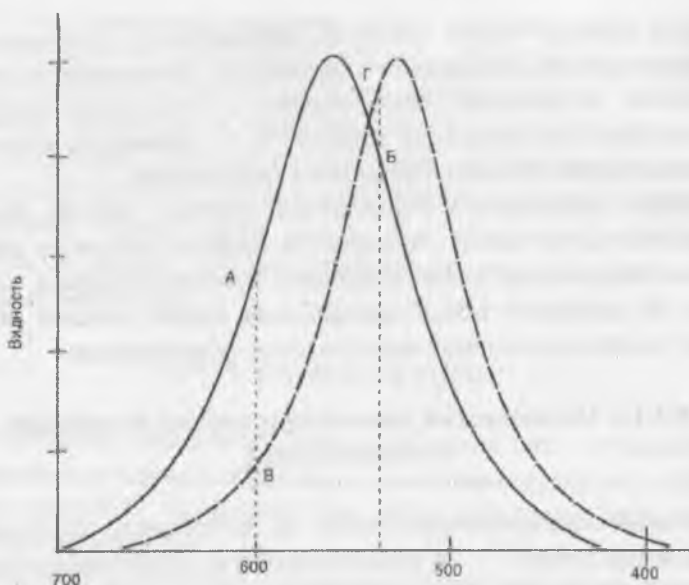


Рис. 4.13. Изменения спектральной чувствительности глаза при низких освещенностях.

При высоких освещенностях наблюдается падение различительной способности глаза в отношении высших яркостей объекта. Наступает так называемая «слепимость» глаза. Теряется ощущение градации тонов в высших светах изображения. Цвета при высоких освещенностях кажутся разбеленными, менее насыщенными, а слабонасыщенные цвета представляются белыми.

Освещенности объектов для наилучшей различительной способности глаза лежат в пределах от 200 до 2000 люкс.

4.4. Восприятие цвета

4.4.1. Явление кажущихся цветов

Также как и в ощущениях, в восприятии цветов существует ряд установленных закономерностей. Наиболее значительным явлением в области восприятия цвета следует считать явление кажущихся цветов, называемое **ЦВЕТОВЫМ КОНТРАСТОМ**.

Сущность его состоит в том, что цвета изменяют свой вид в зависимости от соседства друг с другом.

Различают два вида соседства цветов — соседство в пространстве и соседство во времени. Первый вид соседства имеет место при рассматривании в картинной плоскости двух рядом расположенных цветов, наблюдаемых одновременно. Второй вид соседства — при последовательном рассматривании цветов, через большие или меньшие промежутки времени, например, при просмотре цветных кинокадров в их монтажной последовательности.

В соответствии с этим различают цветовой контраст **ОДНОВРЕМЕННЫЙ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ**.

4.4.2. Виды цветовых контрастов

Одновременный и последовательный цветовые контрасты делятся на **ЯРКОСТНЫЕ** (называемые также **СВЕТЛОТНЫМИ**) и **ХРОМАТИЧЕСКИЕ**.

Яркостной контраст выражается в кажущемся изменении яркости цветов, хроматический — в кажущемся изменении цветности (то есть цветового тона и насыщенности).

Кроме этого различают еще **КРАЕВОЙ КОНТРАСТ**. Сущность его состоит в кажущемся изменении цветов у границ их соприкосновения. Краевой контраст относится, таким образом, к одному из видов одновременного контраста.

4.4.3. Закономерности одновременного цветового контраста

Яркостной одновременный контраст проявляется в том, что темные цвета в соседстве со светлыми воспринимаются более темными, а светлые в соседстве с темными — более светлыми. Особенно резко это наблюдается у границ касания цветов.

Это ведет к кажущейся неравномерности тона окрашенных плоскостей, в силу чего возникают иллюзии вогнутости или выпуклости плоских поверхностей. Так, например, ряд

равномерно покрашенных полос различной светлоты производит впечатление желобчатой пилястры.

Хроматический одновременный контраст проявляется в том, что хроматический фон производит кажущееся изменение цветности располагаемых на нем цветов. Это изменение всегда направлено в сторону цвета дополнительного к цвету фона.

Особенно заметно это наблюдается при расположении белых или серых цветов на хроматическом фоне, которые начинают казаться хроматическими. Например, серый цвет на зеленом кажется пурпурным.

Если хроматический цвет помещается на фоне дополнительного к нему цвета, то он начинает казаться более насыщенным. Например, красный на голубом кажется насыщеннее, чем он есть на самом деле.

4.4.4. Закономерности последовательного цветового контраста

При последовательном цветовом контрасте закономерности изменения цветов в основном те же, что и при одновременном. Отличительная особенность последовательного контраста — появление в глазу, так называемого **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОБРАЗА**, остающегося некоторое время после наблюдения цвета. Этот образ, имея определенный цвет, переносится на другие наблюдаемые цвета и вносит искажения в их восприятие. Различают два рода последовательных образов, — **ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ**. Положительные образы имеют тот же цвет, что и наблюдаемый перед ним, а отрицательные — дополнительный цвет.

Положительные последовательные образы особенно заметно проявляются при наблюдении ярких световых пятен. Например, после взгляда на яркий источник света в глазу некоторое время сохраняется его образ такого же цвета, он накладывается на последующие зрительные ощущения деформирует цвета наблюдаемых предметов.

Отрицательные последовательные образы возникают после более или менее продолжительного наблюдения хроматических цветов. Например, после наблюдения пурпурного цвета в глазу остается образ зеленого.

4.4.5. Объяснение цветовых контрастов

Одновременному цветовому контрасту еще не найдено исчерпывающего научного объяснения. Механизм его обрисовывается по-разному. Предполагается индукция соседних нервов в пункте раздражения сетчатки. Предполагают, также, что одновременный контраст является, в сущности, последовательным, так как фактически наш глаз всегда в движении и его сетчатка последовательно раздражается сменами цветов.

Последовательный цветовой контраст объясняется явлением цветовой усталости глаза, а также его адаптацией.

Цветовая усталость глаза выражается в том, что при наблюдении хроматического цвета одна часть колбочек, испытывающая наиболее сильное возбуждение, утомляется ранее других и в силу этого в большей степени теряет чувствительность, чем колбочки возбуждаемые слабо и поэтому более длительно сохраняющие свою чувствительность. При перемене наблюдаемого цвета более чувствительные колбочки возбуждаются сильнее и это приводит к ложной информации о цвете. Так, например, при наблюдении пурпурного цвета (А) (рис. 4.14) преимущественно утомлялись колбочки синечувствительные и красночувствительные, в результате чего относительная чувствительность колбочек зеленого центра оказались повышенной.

Если глаз в таком его состоянии быстро перевести на белую поверхность (Б) то, естественно, она представится уже не белой, а зеленой (В), то есть дополнительного цвета к ранее наблюдаемому.

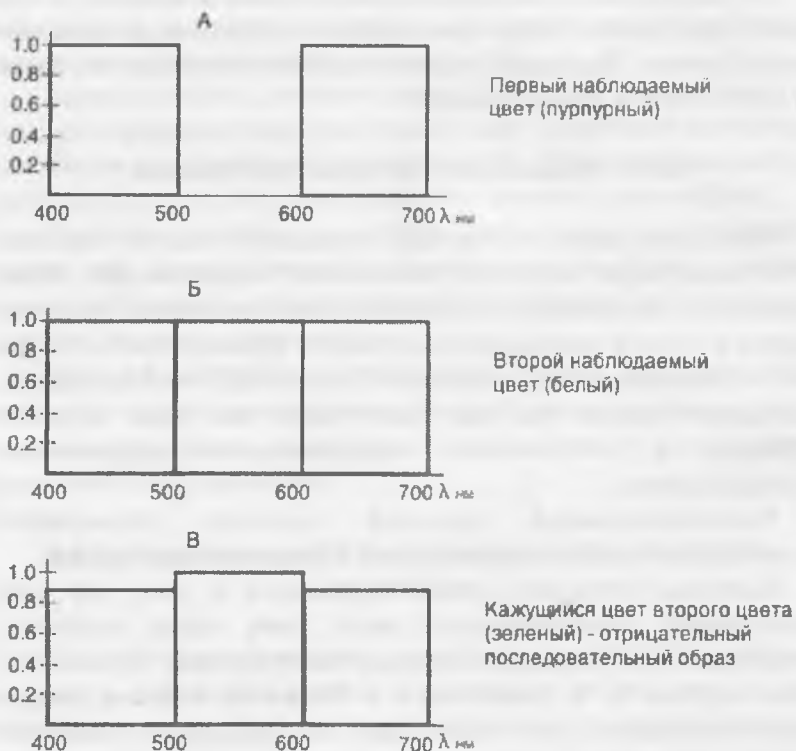


Рис. 4.14. Явление последовательного хроматического контраста.

4.4.6. Фактор времени в цветовом контрасте

Для возникновения кажущихся цветов достаточно коротких промежутков времени, начиная примерно, от 1 секунды. 15 секунд — максимально достаточный срок для образования наиболее выраженного последовательного образа и наиболее продолжительного. Яркость наблюдаемого цвета также играет при этом роль.

Срок сохранности последовательного образа в глазу доходит, примерно до 10 секунд и колеблется у разных лиц. Во

всяком случае, не менее 5 секунд он наблюдается отчетливо большинством лиц. Если учесть, что за 5 секунд нормальной проекции фильма проходит 2,5 метра, (а это длина многих коротких планов), то, следовательно, восприятие многих кадров проходит под действием остаточных цветовых образов от предыдущего кадра.

4.4.7. Действие последовательных образов на восприятие цветов

Зная механизм образования последовательных образов, не трудно предвидеть и их действие на последующие цветовые впечатления.

Цвет последовательного образа усиливает яркость и насыщенность такого же наблюдаемого цвета. Например, красный после наблюдения голубого кажется более ярким и насыщенным, чем после наблюдения его вслед за каким-либо другим хроматическим цветом. Объясняется это тем, что после голубого цвета в глазу возникает образ красного, усиливающий ощущение от наблюдения красного цвета.

Если же наблюдаемый цвет по цветовому тону противоположен цвету последовательного образа, то он будет казаться менее насыщенным, то есть обесцвечиваться. Например, если перевести взгляд с насыщенного красного на красный слабонасыщенный, то он может показаться бесцветным, так как голубой последовательный образ после красного, складываясь с слабонасыщенным красным, нейтрализует его.

Кажущиеся цвета отрицательных последовательных образов способны наряду с реальными участвовать в одновременном цветовом контрасте. Так, например, если часть белого экрана была некоторое время зеленой, то после исчезновения зеленого она начинает казаться пурпурной. Одновременно с этим другая часть экрана, которая все время оставалась белой, начинает казаться зеленой в силу соседства с пурпурным цветом последовательного образа.

4.4.8. Практическое значение цветовых контрастов

Если действие цветового контраста на восприятие киноизображения предвидится, то его можно использовать как для усиления, так и ослабления некоторых цветовых впечатлений. Глаз кинозрителя может быть, таким образом, заранее спровоцирован для восприятия цветов в их усиленном или ослабленном качестве.

Это относится не только к цветному кино, но и к черно-белому. Так, например, светлое позитивное изображение, после предшествующих темных кадров будет казаться значительно светлее, так как за время проекции темных кадров глаз подвергался темновой адаптации и повысил свою чувствительность к свету.

Практический учет действия последовательного цветового контраста имеет наибольшее значение лишь в смысле учета общего сдвига колорита в ту или иную сторону под действием последовательного образа, распространяющегося на изображение целиком. Так, например, если все поле киноэкрана некоторое время наблюдалось красным, то несомненно голубой последовательный образ, охватывающий весь экран несколько сдвинет все цвета последующего кадра в сторону холодных тонов, по крайней мере в первые секунды его наблюдения.

4.4.9. Явление цветных теней

Если предмет, освещенный белым светом, осветить сбоку цветным пучком света, то он отбросит от себя цветную тень (рис.4.15). При этом цвет тени оказывается дополнительным цвету источника света. Так, например, при зеленом освещении тень будет пурпурная, при пурпурном — зеленая, при красном — голубая и т. д.

Источник 1 освещает объект А белым светом, а источник 2-пурпурным. За объектом находится белый фон, на который отбрасываются две тени — тень «а» от белого источника и тень «б» от пурпурного. Тень «а» выглядит пурпурной.

Тень «б», освещаемая белым светом, казалось бы, должна выглядеть белой, но в действительности цвет ее зеленый.



Рис. 4.15. Схема образования цветной тени.

Явление это объясняется одновременным цветовым контрастом. Насыщенность цвета тени оказывается довольно высокой. Это объясняется тем, что при цветах, создаваемых цветным освещением, одновременный контраст проявляется значительно сильнее, чем при цветах, создаваемых цветными покрасками поверхностей.

4.4.10. Иллюзия пространства при наблюдении цветов

Большинство цветов в природе относится к определенным материальным предметам и воспринимается неразрывно с фактурой поверхности этих предметов. Если же при наблюдении таких цветов исключить восприятие факторных

особенностей тел, то цвета представляются в новом качестве нематериальными находящимися как бы в пространстве на неопределенном расстоянии.

В соответствии с этим все цвета делятся на две группы — фактурные и бесфактурные, или, как их называют иногда иначе, поверхностные и пространственные.

Эта особенность цветов широко используется при киносъемке для создания в киноизображении иллюзий пространства. Практически это достигается съемкой цветных фактур без наводки их на фокус. Так фотографируются, например, задники декораций, рисованные на грубом холсте с изображением фона неба. Фактура фона при нерезкой наводке на фокус исчезает и цвет его в киноизображении превращается в пространственный.

4.4.11. Иллюзия освещения

При воспроизведении изобразительными средствами иллюзии того или иного освещения очень важно, чтобы цвета предметов получались подчиненными изображаемому освещению. Тогда они будут восприниматься органически связанными с характером освещения. Если это условие не соблюдается, то иллюзия освещения может разрушиться.

С физической точки зрения подчиненность цветов освещению должна выражаться в том, что цвета предметов должны оправдываться действующим спектральным составом освещения, логически вытекать из него. Только тогда и возможна строгая выдержанность и реалистичность эффекта изображаемого освещения.

Если в цветовую композицию включается предмет с цветом невозможным при данном освещении, то такой предмет выглядит самосветящимся. Так, например, в свете свечи или керосиновой лампы, обладающим низкой цветовой температурой (порядка 1900—2000°K), имеется незначительное количество синих лучей по сравнению с красными. Следовательно, при свете этих источников все предметы с голубой и синей покраской уже никак не могут иметь таких же насыщенных цветов, как предметы с оранжевой и красной окраской. Многие

синие предметы будут при этом совершенно обесцвечены, согласно закону субтрактивного смешения цветов. Если же вопреки этому закону, зритель увидит в кадре, при изображаемом свете свечи, предмет насыщенного голубого цвета, то он будет воспринят светящимся собственным голубым светом.

4.5. Измерения цвета

Общие замечания. В технической литературе, касающейся вопросов цвета, освещения, характеристик цветных светофильтров и различных способов цветовоспроизведения часто приводятся количественные данные рассматриваемых цветов, в виде их объективной характеристики. При этом системы количественных оценок цвета бывают различны. Каждая из них имеет свои особенности в применениях к тем или иным научным или производственным целям. Оператору необходимо хотя бы в общих чертах понимать принципы цветовых измерений и, в частности, понимать существующий международный язык в области цветовой технической информации. Некоторые же способы цветовых измерений и документации цвета настолько просты, что оператор с пользой для своей техники экспонетрии может пользоваться ими сам.

4.5.1. Виды и цели измерений цвета

Вопросами измерений цвета занимаются две самостоятельные науки — колориметрия и спектрофотометрия.

Колориметрия преследует количественную характеристику цвета как зрительного ощущения, независимо от спектрального состава лучей, образующих данный цвет.

Спектрофотометрия занимается характеристикой цветов только со стороны их спектральных составов, раскрывая этим физическую сущность цвета.

Визуальные оценки цветов, в таких определениях как красный, зеленый, насыщенный, слабонасыщенный, светлый и темный, являются только КАЧЕСТВЕННЫМИ определениями цвета. Они всегда субъективны и приближительны.

К измерениям цвета прибегают в тех случаях, когда визуальные его оценки недостаточны для технических целей и необходимы точные количественные, объективные данные.

Кинооператору количественные данные яркости цветов необходимы для экспонетрических расчетов; количественные оценки их светлоты необходимы для суждения о вероятных интервалах яркости объекта съемки при тех или иных контрастах освещения; количественные данные цветности нужны ему для сравнения цветных светофильтров и источников света; справки по спектральным характеристикам цветов нужны для координации цветовых и спектральных свойств объекта съемки со спектральными характеристиками факторов съемочного процесса при решении экспонетрических задач. Измерения цветовых плотностей негатива служат многим целям контроля процессов съемки и обработки цветного фильма.

При исследовательских работах измерения цвета применяются для его документации и объективной оценки результатов его фотографического воспроизведения.

4.5.2. Спектральные измерения цвета

Спектральные измерения цвета относятся к спектрофотометрии. Спектрофотометрами называются приборы, служащие для измерений коэффициентов пропускания или отражения света цветными телами в узких зонах спектра, в пределах отдельных длин волн.

Измерения ведутся последовательно по всему спектру, через определенные интервалы длин волн и по найденным спектральным коэффициентам строится спектрофотометрическая кривая данного цветного тела. При точных лабораторных измерениях применяются интервалы по 10 нанометров. Для менее точных, но вполне достаточных для фотографических целей, берут всего три точки спектра, позволяющие построить спектральную характеристику цвета в виде трехступенчатого зонального графика отражения или пропускания.

При зональном методе границы зон устанавливаются по спектру для синей зоны — от 400 до 490 нм. для зеленой — от 490 до 570 нм и для красной — от 570 до 700 нм.

Для спектральных измерений цвета применяют визуальные и фотоэлектрические приборы. С помощью последних измерения производятся более быстро. Существуют фотоэлектрические спектрофотометры автоматически вычерчивающие спектральную кривую измеряемого цвета.

Спектрофотометрические кривые дают картину лишь **ОТНОСИТЕЛЬНОГО** спектрального состава данного цвета, а не абсолютного. Следовательно, по ним можно судить только о цветности и светлоте данного цветного тела, но не о яркости его.

Упрощенные спектральные измерения могут быть выполнены и с помощью обычного фотоэлектрического экспонометра, снабженного зональными светофильтрами. Три замера света, сделанные через светофильтры дают три числа, могут служить зональной характеристикой спектрального состава цвета. Но следует иметь в виду, что ответы экспонометра в данном случае не дают непосредственно величин трех зональных яркостей цвета, так как показания прибора зависят от плотностей зональных светофильтров и спектральной чувствительности фотоэлемента. Истинные зональные яркости цвета могут быть найдены по таблице, учитывающей два последних фактора. Необходимо учитывать при этом и линейность характеристики применяемого гальванометра (отклонения от линейности).

4.5.3. Измерения цветовых характеристик

Цветовые характеристики тел могут быть найдены двумя методами — либо непосредственными измерениями их, либо расчетным путем по имеющейся спектральной характеристике цвета. Последний путь отличается высокой точностью, но в технических производственных целях применяется редко.

Приборы, служащие для непосредственных измерений цвета называются колориметрами. Они делятся на визуальные и фотоэлектрические.

В визуальных колориметрах находятся два поля сравнения на одном из которых располагается измеряемый цвет, а на другом, путем смешения трех основных инструментальных цветов, подбирается цвет равный измеряемому. Потребные для равенства полей количества трех исходных цветов (их яркости) и составляют количественную характеристику цвета.

По способу подбора цветов колориметры делятся на аддитивные и субтрактивные. В аддитивных колориметрах исходными цветами являются — красный, зеленый и синевфиолетовый, в субтрактивных — желтый, пурпурный и голубой (рис.4.16).

В аддитивных колориметрах инструментальными цветами являются три светофильтра постоянной плотности, перед которыми расположены светопоглотители, регулирующие количество проходящего через фильтры света. В субтрактивном же колориметре применяются светофильтры переменной плотности, в виде цветных оптических клиньев.

Аддитивные колориметры работают точнее субтрактивных, так как длина волны их инструментальных цветов постоянна, а у субтрактивных она изменяется в зависимости от плотности красочного слоя фильтра. Однако для производственных кинотехнических целей точность измерений, даваемая субтрактивными колориметрами достаточна.



Рис. 4.16. Принципиальные схемы трехцветных колориметров.

Фотоэлектрические колориметры представляют собой, в сущности, светомеры с переменной настройкой их на отдельные спектральные зоны. Они делятся на трехзональные и двухзональные. Настройка осуществляется установкой перед фотоэлементом зональных светофильтров. В трехзональных колориметрах применяются красный, зеленый и сине-фиолетовый светофильтры, в двухзональном — красный и синефиолетовый.

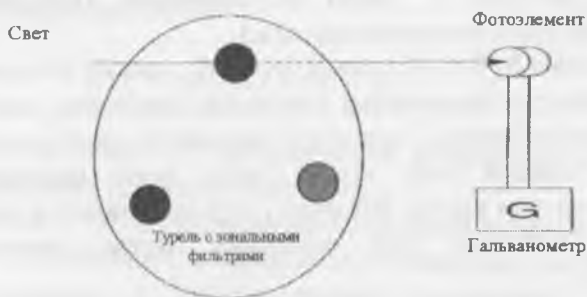


Рис. 4.17. Принцип устройства фотоэлектрического колориметра.

Двухзональные светомеры служат для оценки цветности света по методу сине-красного отношения. Для цветовых оценок они пригодны только в отношении тех цветов, спектры которых относятся к температурным излучателям.

Трехзональные фотоэлектрические колориметры (цветомеры) пригодны для измерения цветов любых тел и источников света. Принципиальная их схема показана на рис. 4.17.

4.5.4. Системы цветовых координат

В зависимости от того, каким целям служат измерения цвета, применяются различные системы цветовых координат. Так как цвет — трехмерная величина, то все системы цветовых измерений являются трехкоординатными:

а) система A, P, L (цветовой тон, насыщенность и светлота). Координатами этой системы являются три основные

характеристики цвета — цветовой тон (А), насыщенность (Р) и светлота (L). Применяется система в тех случаях, когда необходимо сравнение цветов по их описательным характеристикам.

Преимущества данной системы перед другими в том, что ее координаты дают наиболее наглядное представление о цвете. Примерная запись цвета: $X=620$ нм., $P=20\%$; $L=40\%$. По ней нетрудно видеть, что данный цвет оранжевый, слабонасыщенный, светлый, с таким же примерно коэффициентом отражения, что и человеческая кожа.

б) система К, З, С (красный, зеленый, синий). Координатами ее являются три аддитивных составляющих цвета, количества трех основных цветов — красного, зеленого и синего, сложением которых данный цвет может быть точно воспроизведен. Система эта дает как бы формулу получения цвета аддитивным путем с помощью трех основных цветов, принятых за эталонные.

в) система, Г, П, Ж (голубой, пурпурный, желтый). Координаты ее — три субтрактивные составляющие данного цвета, в виде оптических плотностей трех красочных слоев — голубого, пурпурного и желтого, с помощью которых данный цвет может быть воспроизведен субтрактивным путем. Имеются в виду три светофильтра, названных цветов с определенными спектральными характеристиками, принятыми за эталон в данной системе.

г) международная система X, Y, Z (икс, игрек, зет). Принципиально это то же, что и система КЗС, с той разницей, что в ней приняты за основные три условных цвета — красный (X), зеленый (Y) и синий (Z), с такими спектральными характеристиками (нереальными), при которых, эти цвета, если бы они существовали, выглядели бы более насыщенными, чем цвета спектра.

Принять за основные именно такие цвета пришлось потому, что с их помощью становится возможным записывать формулы цветов любой высокой насыщенности, включая и спектральные. Реальные цвета КЗС в принципе непригодны для измерений цветов высокой насыщенности, так как никакой их

смесью невозможно получить цвет более насыщенный, чем три исходные. По этой причине большая группа насыщенных цветов, и в том числе все спектральные с чистотой 100%, не может быть воспроизведена смешением реальных основных цветов и, следовательно, не поддается измерению.

Относительные количества основных цветов, входящих в формулу цвета принято обозначать малыми буквами x , y , z . Тогда общий вид цветового уравнения для цвета Φ в данной системе представится так:

$$\Phi = xX + yY + zZ,$$

где x , y , z называются трехцветными коэффициентами (или относительными компонентами цвета).

Система X , Y , Z построена на математической расчетной основе, позволяющей оперировать основными цветами как положительными и отрицательными величинами. Грубую аналогию можно привести с пружинными торговыми весами, шкала которых рассчитана на предельный вес, например 1 кг. На таких весах можно взвесить и более тяжелый груз, если воспользоваться гирей «отрицательного веса», положив ее на чашку противовеса.

4.5.5. Особенности международной системы измерений цвета

Система X , Y , Z , принятая в 1931 году на Международном осветительном конгрессе, встречается в литературе под названием «система МКО».

Система МКО рассчитана на определенные стандартные условия наблюдения цветов, относительно которых и даются количественные данные цвета. К таким условиям относятся: стандартная характеристика нормального человеческого глаза, в виде кривой спектральной чувствительности глаза «стандартного наблюдателя», и стандартное освещение, при котором должно наблюдаться измеряемое цветное тело. В качестве

стандартов освещения принято три стандарта цветовой температуры; 2848°K («источник А»), относящийся в газополной лампе накаливания, 4800°K («источник В») — источник А с фильтром дневного света, и 6500°K («источник С») — комбинация источника А с более плотным голубым фильтром. Равноэнергетический спектр называют источником Е.

Для каждого из этих условий освещения заранее высчитаны возбуждения колбочек глаза ахроматическим цветом, то есть найдены три «равновесные» величины красного, зеленого и синего возбуждений, при которых ощущается белый цвет. Это — координаты белой точки цветового графика. Вокруг нее располагаются все хроматические цвета с соответствующими им трехцветными координатами.

4.5.6. Цветовой график МКО

Он представляет собой графическое изображение на координатной сетке, всего многообразия существующих цветностей, выражаемых количественно по системе X, Y, Z (рис. 4.18).

График позволяет легко переходить от трехцветных коэффициентов x, y, z к координатам — цветовой тон, чистота цвета.

Каким же образом в этом графике трехмерные величины (цвета) удалось расположить графически в двухмерной плоскости с помощью всего двух координат — x и y ? Это стало возможным благодаря выражению цветностей с помощью так называемых трехцветных коэффициентов — трех относительных чисел, выражающих доли красного, зеленого и синего. Сумма трехцветных коэффициентов в этом случае принимается за единицу. Тогда достаточно знать всего два коэффициента, чтобы иметь полное представление о цветности, так как величина третьего коэффициента всегда будет равна числу, дополняющему сумму первых двух до единицы. Таким образом, все многообразие цветностей можно передавать комбинациями всего двух коэффициентов x и y .

Вокруг центральной точки графика, отвечающей белому цвету, располагаются по concentрическим линиям хроматические цвета равной насыщенности, охватывающие все цветовые тона, включая и пурпурные. По линии наиболее удаленной от белой точки располагаются спектральные цвета, как наиболее насыщенные. Фигура, образованная линией спектральных цветов и пурпурных, представляющая собой как бы деформированный цветовой круг, похожая на треугольник с овальной вершиной, называется в цветовом графике ЛОКУСОМ.

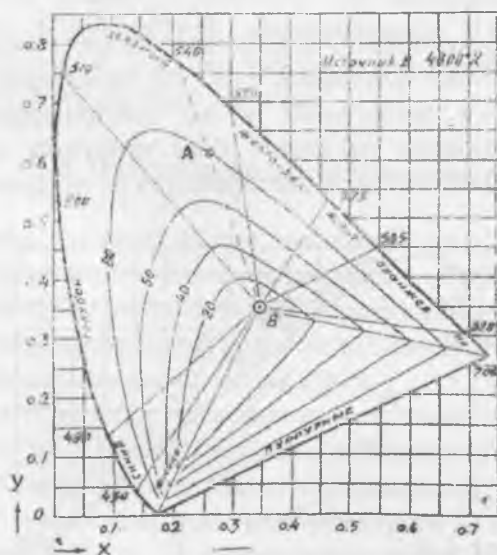


Рис.4.18. Цветовой график МКО.

По прямым линиям, соединяющим отдельные точки локуса с белой точкой графика (точка В) располагаются все цветности одного цветового тона с чистотой от 100% до нуля.

Пример перехода от трехцветных коэффициентов к координатам: цветовой тон и чистота.

Даны трехцветные коэффициенты некоторого цвета А: $x = 0,25$ и $y = 0,61$ (рис. 4.18). Ищем на сетке графика

пересечение координат 0,25 по оси x и 0,61 по оси y . Оказалось, что через эту точку пересечения проходит линия цветовых тонов с длиной волны 540 нм. Следовательно, цветовой тон нашего цвета равен 540 нм. Замечаем далее, что через эту же точку пересечения проходит линия малого локуса равнонасыщенных цветов, обозначенная числом 80. Следовательно, насыщенность равна 80%.

Таким путем по графику определяется только цветность. Яркость цвета графиком МКО не учитывается.

4.5.7. Практические применения цветового графика МКО

Цветовой график МКО широко применяется в современных каталогах цветных светофильтров для характеристики цветности стекол в дополнение к их спектральным характеристикам. Особенно наглядно иллюстрируется в цветовом графике зависимость цвета светофильтра от толщины стекла.

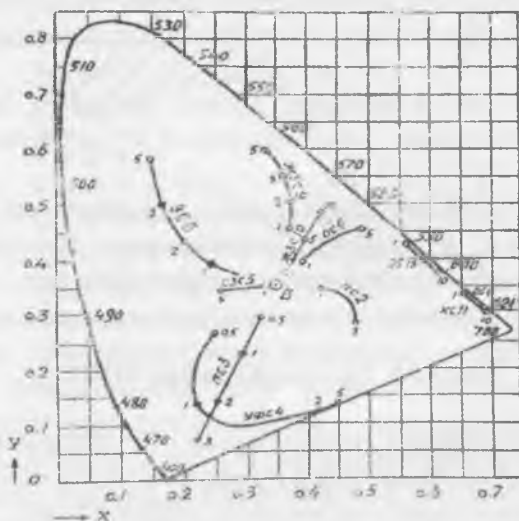


Рис. 4.19. Применение цветового графика МКО в каталоге Цветных светофильтров.

Стекло одной и той же марки при разных толщинах может иметь цвет различного цветового тона. Примерный цветовой график МКО с изображением нескольких марок цветных светофильтров показан на рис. 4.19. Цифры около точек означают толщину цветного стекла в мм.

Цветовой график МКО применяется также для характеристики цветowych охватов, относящихся к различным цветовоспроизводящим системам в кино и телевидении. По нему ясно видны цвета, воспроизводимые и невоспроизводимые данной системой, что имеет большое практическое значение при оценках качества цветовоспроизведения и технических возможностей цветопередачи. График МКО применяется также для многих других целей в научно-исследовательских работах с цветом.

4.5.8. Простейшие измерения цвета

Измерения яркости цветов, наиболее просто ведутся с помощью фотоэлектрических светометров. В операторской практике для этой цели применяются экспонометры-яркомеры. Детально техника измерений яркости для целей экспонометрии рассматривается в третьем разделе курса.

Измерения светлоты также могут быть выполнены яркомерами, для чего в одинаковых условиях освещения сравниваются яркости измеряемой поверхности и эталонного белого поля. Отношение найденных чисел определяет коэффициент отражения или светлоту. Но проще всего светлота измеряется с помощью ступенчатой серой шкалы, выполненной в виде решетки с просветами между полями (рис. 4.20). Светлота каждого эталонного поля такой шкалы известна.



Рис. 4.20. Простейший визуальный измеритель светлоты.

Путем визуального сравнения измеряемой поверхности с отдельными полями шкалы (через просветы между ними) светлота может быть определена с высокой точностью.

Измерения цветности проще всего производятся с помощью цветового атласа. Атласы представляют собой наборы эталонированных цветов, выполненных в виде накресок на отдельных карточках. На каждой карточке цвета группируются по одному из общих признаков цветности, цветовому тону или насыщенности, и даются с вариантами одной из этих характеристик. Измерение сводится к отысканию в таблице цвета сходного с измеряемым. После этого измеряемому цвету приписываются цветовые координаты, обозначенные на эталоне. Атлас архитектурных цветов, изданный Академией Архитектуры СССР в 1949 г., содержит более 400 цветов размещенных на 22 таблицах. Каждая таблица содержит по 4 цвета близких друг к другу по цветовому тону с 5-ю вариантами насыщенности каждого. К таблицам приложены спектральные характеристики цветов, в виде кривых поглощения, цветовые координаты (цветовой тон, насыщенность и светлота) и рецептура красок для воспроизведения данных цветов в малярной технике. Кроме того, каждый цвет имеет условный цифровой шифр.

За рубежом наибольшим распространением пользуются атласы Оствальда (немецкий) и Менселла (американский). Последний считается лучшим, так как систематизация цветов, примененная в нем, позволяет пользоваться общепринятыми характеристиками цвета по цветовому тону, насыщенности и светлоте. В атласе Оствальда цвета систематизируются и обозначаются иным способом. В нем каждому цветовому тону, обозначенному условным порядковым номером, приписываются по два буквенных знака. Один знак означает «количество белого» в цвете, другой — «количество черного». Эти количества не означают весовых единиц красок, а относятся к условным делениям ахроматического ряда на 8 равных ступеней.

Атлас Оствальда удобен в обращении и имеет много шкал для измерения цвета в координатах своей системы.

Недостаток системы цветов Оствальда заключается в том, что она не связана с существующими научными характеристиками цвета, а также в том, что в ней встречаются одинаковые цвета с различными обозначениями.

Недостаток всех атласов, как средств измерения цвета, состоит в том, что цвета их со временем изменяют свои характеристики и нуждаются в замене при повторном эталонировании. Атласы требуют осторожного обращения с ними и защиты их от вредного действия света.

Контрольные вопросы

1. Тоновоспроизведение и цветовоспроизведение.
2. Точность фотографической цветопередачи.
3. Цвета в кадре первоначальные и повторные.
4. Фотографическая яркость.
5. Способы выражения спектральных характеристик цвета.
6. Приближенные определения цвета по его спектральной характеристике.
7. Некоторые типичные цвета объектов съемки.
8. Два способа смешения цветов.
9. Три закона аддитивного смешения цветов.
10. Три способа аддитивного смешения цветов.
11. Способы получения цветов субтрактивным смешением.
12. Изменения цвета объекта съемки в зависимости от освещения.
13. Цветные рефлексy.
14. Отличие ощущения от восприятия.
15. Ощущения цвета и цветности.
16. Дефекты цветового зрения.
17. Адаптация глаза.
18. Особенности зрения при низких и высоких освещенностях.
19. Явление кажущихся цветов.
20. Виды цветовых контрастов.
21. Закономерности одновременного цветового контраста.
22. Закономерности последовательного цветового контраста.

23. Объяснение цветовых контрастов.
24. Фактор времени в цветовом контрасте.
25. Действие последовательных образов на восприятие цветов.
26. Практическое значение цветовых контрастов.
27. Явление цветных теней.
28. Иллюзия пространства при наблюдении цветов.
29. Иллюзия освещения.
30. Виды измерений цвета.
31. Цели измерений цвета.
32. Спектральные измерения цвета.
33. Измерения цветовых характеристик.
34. Системы цветовых координат.
35. Особенности международной системы измерений цвета.
36. Цветовой график МКО.
37. Практические применения цветового графика МКО.
38. Простейшие измерения цвета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном учебном пособии были рассмотрены основные темы по фотометрии и цветоведения, которые в будущем выпускникам помогают овладевать профессии кинотелеоператора, художника по освещению, монтажера для качественной съемке кинотелефильмов любого жанра и при обработке кадров после съемки.

Целью преподавания дисциплины «Фотометрия и цветоведение» является формирование систематизированного знания об основах фотометрии и цветоведения (как их разделов) и приобретение навыков выполнения фотографических композиций на базе полученных сведений о принципах и закономерностях составления гармонических цветосочетаний основных групп и типов, а также цветовых композиций, основанных на психологическом воздействии цветов и ассоциациях, вызываемых ими.

В учебном пособии были изложены система фотометрических величин и ее применение для характеристики оптических свойств тел и материалов. Описаны наиболее распространенные источники и приемники излучения, а также методы и приборы, применяемые для измерений световых величин, фотометрических и спектрофотометрических характеристик материалов. Как известно, цвет может не только радовать, а и вызывать раздражение, тревогу, чувство тоски или грусти. Иными словами, цвет оказывает на вас эмоциональное воздействие. Одни цвета успокаивают нервную систему, другие, наоборот, раздражают. Успокаивающее воздействие оказывают зеленый, голубой, синий, а возбуждающее — пурпурный, красный, оранжевый, желтый цвета.

Известно, что человек, нуждающийся в физическом отдыхе, эмоциональном покое, инстинктивно выбирает темные тона. Если же организм нуждается в отдаче энергии путем направленной вовне активности или интеллектуального творчества, тогда естественной реакцией будет выбор светлых ярких тонов. Действие цветов обусловлено как непосредственным влиянием на организм человека, так и ассоциациями,

которые вызывают цвета на основе всей предшествующей практики человека. С давних пор люди придавали цвету особое значение. В средние века пурпурный цвет означал силу, могущество, достоинство; лазоревый цвет – красоту, величие, мягкость; черный цвет в сочетании с красным – смерть.

Великая роль цвета в обрядах и празднествах. Так, например, красный цвет означает торжественность, величие; черный – горе, смерть, печаль; белый – чистоту, невинность; зеленый – надежду. Интересно отметить, что у разных народов одному и тому же цвету могли придавать разное символическое значение. Например, в Китае и некоторых странах Азии и Африки белый цвет является цветом траура. Славяне одевали умерших в белые одежды.

Другими словами, данное учебное пособие - это система помощи, это первая ступенька, плацдарм, основываясь на котором можно формировать свои творческие умения и навыки, то есть развивать и обогащать свой творческий опыт.

ГЛОССАРИЙ

Анализ — 1) метод научного исследования, состоящий в мысленном или фактическом разложении целого на составные части; 2) разбор, рассмотрение чего либо. В искусствоведении - разбор состава произведения искусства. Анализируется любое произведение искусства в единстве содержания и формы. При детальном анализе произведения, как правило, раскрывается идея и тема произведения; выявляются художественные средства, которые использовал художник для воплощения замысла и т.д.

Аберрация. Искажение идеального изображения, вызванное недостатками оптической системы

Абсорбция. Отражение непрозрачным покрытием (или пропускание прозрачным светофильтром) собственного цвета и поглощение остального падающего светового потока

Аддитивное смешение цветов. Смешение по-разному окрашенного света от двух или более источников

Апертурный угол. Угол раскрытия светового луча прожектора или отражателя

Ахроматические цвета (т.е. нейтральные, бесцветные) — черный, белый и все оттенки серого (от самого светлого до самого темного), отличаются друг от друга только тоном. Цвета, не являющиеся *хроматическими типами*.

Блеск. Качество *цвета*, определяемое качеством окрашенной поверхности.

Видимое излучение — электромагнитное излучение с длиной волны от 380 до 780 нм. Нм — нанометр — одна миллиардная доля метра.

Визуальный - зрительный — направленное наблюдение физического явления или процесса в форме удобной для восприятия.

Волновая природа света — основа восприятия цвета через органы зрения.

Выборочное отражение. Свет отражается от поверхности, окрашиваясь в ее цвет. Свет, отраженный металлической поверхностью, имеет цвет металла

Газоразрядная лампа. Лампа, излучающая свет за счет *дугового разряда*. Газоразрядными являются лампы *HML, MSR, ксеноновые, флюоресцентные, неоновые*

Гармония – согласованность, стройность в сочетании чего-либо, единство противоположностей, мера и пропорциональность, равновесие, сомасштабность. Обязательно возвышенное и прекрасное.

Диаметр – поперечник - отрезок прямой, соединяющий две наиболее удаленные точки геометрической фигуры. Для круга - отрезок, соединяющий две точки окружности и проходящий через центр.

Дизайн (анг. design - инженер - конструктор, от лат. designare - отмерять) – это творческая деятельность, целью которой является определение формальных качеств промышленных изделий. Эти качества включают и внешние черты изделия, но главным образом те структурные и функциональные взаимосвязи, которые превращают изделие в единое целое, как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения изготовителя. Дизайн стремиться охватить все аспекты окружающей человека среды, которая обусловлена промышленным производством. Дизайн, есть творческий метод, процесс и результат художественно технического проектирования промышленных изделий, их комплексов и систем, ориентированного на достижение наиболее полного соответствия создаваемых объектов и среды в целом возможностям и потребностям человека, как утилитарным, так и эстетическим.

Дневной свет. Театральное искусственное освещение, аналогичное естественному с *цветовой температурой* 6000 К.

Дополнительные цвета. Пары цветов, при смешении образующие черный или белый.

Индекс цветопередачи, Ra. Характеристика качества *цветопередачи*.

Интегрированное смешение цветов. Интегрированное смешение цветов основано на их субтрактивном смешении. Для получения нового тона мы не накладываем один цвет поверх другого, а смешиваем субтрактивные элементарные цвета. Таким образом, интегрированная цветовая смесь может иметь

хроматические и ахроматические составляющие. Практическая ценность такого подхода очевидна – это не что иное, как способ получения красок для покрытия цветной базовой поверхности с целью сообщения ей заданного цвета!

Инфракрасное излучение. Невидимое излучение с длиной волны больше 780 нм. Различают 3 диапазона инфракрасного излучения:

IR-A. 780 нм - 1,4 мкм (содержание в дневном свете 31,2%);

IR-B. 1,4 мкм - 3,0 мкм (содержание в дневном свете 12,7%);

IR-C. 3,0 мкм - 1 мм (в дневном свете не содержится).

Кандела (кд). Единица измерения *силы света*.

Кельвин (К). Единица измерения термодинамической температуры, названная в честь английского ученого У. Томсона (лорда Кельвина). $0\text{ К} = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$; $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ К}$.

Колориметрическая система СИЕ. Разработанная Международной комиссией по освещению теория, с помощью которой можно объяснить все цветовые явления.

Колористика – 1) гармоничная, комфортная цветовая среда, созданная в результате управляющего воздействия человека на материально пространственное окружение. Целостное пространственное цветовое поле, в которое погружен человек и которое он преобразует в соответствии со своими потребностями; 2) наука о цветовой среде, расширяющая традиционные знания о цвете в пределах цветоведения в связи с внедрением в область социологии, семиотики, информатики, психологии и других смежных наук; 3) деятельность колориста-специалиста в области формирования цветовой среды, удовлетворяющей потребности человека, которая сочетает предпроектный анализ, выработку концепции и конкретное цветовое решение.

Колорит – оптическая совокупность всех цветов, рассматриваемых с некоторого расстояния. Колорит (от лат. color - цвет, краска) - особенность цветового и тонального строя произведения. В К. находят отражение цветовые свойства реального мира, но при этом отбираются только те из них, которые отвечают определенному художественному образу. К. в произведении представляет собой обычно сочетание цветов,

обладающее известным единством. В более узком смысле под К. понимают гармонию и красоту цветовых сочетаний, а также богатство цветовых оттенков. В зависимости от преобладающей в нем цветовой гаммы, он может быть холодным, теплым, светлым, красноватым, зеленоватым и т. д. К. воздействует на чувства зрителя, создает настроение в картине и служит важным средством образной и психологической характеристики.

Тональный К. – сопоставление светлого и темного. В композиционном построении К. служит приемом, благодаря которому сильнее выделяется главное и достигаются большая выразительность и острота характеристики образов.

Композиция (от лат. Composition - составление, соединение, сочинение) – 1) структура произведения, согласованность его частей, отвечающая его содержанию; 2) К. - поиски путей и средств создания художественного образа, поиски наилучшего воплощения замысла художника. Работа над К. идет от первоначального замысла, общей его «завязки» в пластически зримых формах, до завершения произведения. При этом на основе избранной темы художник ведет разработку сюжета.

К композиционному построению относится размещение изображения в пространстве - реальном (в скульптуре) или на картинной плоскости (в живописи и графике) в соответствующих замыслу размере, формате и материалах.

Сюда входят: выяснение центра, узла К. и подчинение ему более второстепенных частей произведения; соединение отдельных его частей в гармоническом единстве; группировка и соподчинение их с целью достичь выразительности и пластической целостности изображения. При этом выявляются контрасты и ритмическое расположение основных масс и силуэтов в картине.

В композиционном решении произведения имеет большое значение выбор наилучшей точки зрения на изображаемое. При работе с натуры к К. относятся и поиски мотива для изображения, подбор и расстановка предметов и постановка живой модели. Работа над К. включает также перспективные

построения изображения, согласование масштабов и пропорций, тональное и цветовое решения произведения; 3) Словами «тематическая композиция» или просто «композиция» заменяют иногда термин «сюжетная картина».

Контраст — резко выраженная противоположность. Противопоставление предметов или явлений, резко отличающихся друг от друга по качествам или свойствам. Различают следующие виды контраста: по яркости, по насыщенности и по цветовому тону.

Коэффициент цветопередачи — отношение цветов предметов при освещении их данным источником света к цветам этих же предметов, освещаемых источником света, принятым за эталон (чаще всего Солнцем), в строго определенных условиях. Символ: Ra.

Ra 91 — 100 соответствует очень хорошей цветопередаче.

Ra 81-91 — хорошая цветопередача.

Ra 51-80 — средняя цветопередача.

Ra < 51 — слабая цветопередача.

Кривая димминга. Поскольку изменение яркости обычных источников света не находится в линейной зависимости от управляющего напряжения, то для равномерного управления яркостью в управляющее напряжение необходимо вносить поправки. Кривую поправок называют кривой димминга. *Диммеры* не могут использоваться для регулирования яркости (во всем диапазоне) таких источников света, как, например, лампа HMI.

Лампа — источник света. Электрическое устройство, предназначенное для излучения света.

Локальный цвет — основной цвет предмета без учета внешних влияний.

Люкс (лк). Единица измерения *освещенности*.

Люмен (лм). Единица измерения *светового потока*.

Люминесценция. Излучение свет, не требующее высоких температур, *Флюоресценция* и *фосфоресценция* являются разновидностями люминесценции. Свечение твердых тел под воздействием электрического разряда называется *электролюминесценцией*.

Мерцание. Возникает при электрическом разряде в газовой среде. Лампа зажигается и гаснет с частотой 100-120 раз в секунду. Этот эффект незаметен для глаз, но осложняет кино- и видеосъемку. Для минимизации этого эффекта используется электронный *балласт*.

Модификация – видоизменение, преобразование, характеризующееся появлением новых свойств.

Освещение – применение света в конкретной обстановке, рядом с объектами или в их окружении, с целью сделать их видимыми.

Освещенность. Физическая величина, показывающая, насколько сильно освещается поверхность в зависимости от угла падения световых лучей. Обозначение - Е. Единица измерения: *люкс (лк)*. $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} / \text{м}^2$. Освещенность определяется отношением падающего светового потока к площади освещаемой поверхности. Освещенность равна одному люксу, если поверхностная плотность светового потока в 1 лм равномерно распределена по площади в 1 кв.м.

Основные физические величины в светотехнике.

Световой поток, Ф. Единица измерения: *люмен (лм)*.

Сила света, J. Единица измерения: *кандела (кд)*.

Освещенность, Е. Единица измерения: *люкс (лк)*.

Яркость, В. Единица измерения: $\text{кд}/\text{м}^2$.

Световая эффективность. Единица измерения: $\text{лм}/\text{Вт}$.

Отклонение цвета. Изменение цвета в результате неправильного репродуцирования. Особенно наглядно проявляется на телевидении и в кино

Оттенок – отклонение цвета от основного «нейтрального» тона.

Перспектива – вид вдаль, на далеко находящиеся предметы. Изменение размеров и очертаний предметов вдали.

Пигмент – краска - красящие вещества, содержащиеся в животных и растительных тканях и обуславливающие их окраску.

Поверхностный цвет – цвет, воспринимаемый в единстве с фактурой предмета.

Преломление лучей. Изменение траектории движения лучей, прошедших сквозь оптически прозрачную среду. Угол преломления зависит от толщины оптической среды

Просновка – светлая или темная полоска между контрастными цветами.

Рассеяние света. Свет становится рассеянным, если он многократно отражается или преломляется.

Свет – излучение, непосредственно воспринимаемое зрением (видимое излучение).

Светильник – прибор, перераспределяющий, фильтрующий и преобразующий свет, излучаемый одной или несколькими лампами и содержащий все необходимые детали для установки, крепления его и ламп, но не сами лампы, а также электрические цепи и элементы для присоединения его к электрической сети.

Световая отдача – отношение излучаемого светового потока к потребленной мощности. Единица: люмен на ватт (лм/Вт). Световая отдача показывает, с какой экономичностью полученная электрическая мощность преобразуется в свет.

Примечание: этот термин относится исключительно к источникам света (лампам), а не к светильникам, для которых применяется термин “коэффициент полезного действия”, т.е. отношение излученного светильником светового потока к общему световому потоку, излучаемому находящимися в нем источниками света (лампами).

Световая эффективность. Физическая величина. Отношение светового потока светильника к потребляемой электрической мощности. Единица измерения: лм/Вт.

Световой поток. Физическая величина. Полное количество света, излученного источником во всех направлениях. Обозначение - Φ . Единица измерения - люмен (лм).

Сила света. Физическая величина. Количество света, излученного источником в определенном направлении. Определяется отношением светового потока, направляемого от источника света (лампы) или светильника в пределах

элементарного пространственного угла (1 стерadian), охватывающего данное направление, к этому углу. Обозначение - J. Единица измерения - *кандела (кд)*.

Смещение цветов. Различают *аддитивное, субтрактивное интегрированное смещение цветов*.

Спектральные цвета. Чистые, насыщенные цвета, полученные спектральным разложением белого света.

Субтрактивное смещение цветов. Смещение различных цветов с одним источником света.

Тепловое излучение. Свет обладает энергией и переносит тепло за пределами видимой области в виде длинноволнового *инфракрасного излучения*.

Теплые цвета. Цвета из красно-желтой области спектра.

Ультрафиолетовое излучение, ультрафиолет, УФ. Невидимое излучение с длинами волн меньше 380 нм. смежное с фиолетовой частью видимого спектра. Некоторые вещества поглощают ультрафиолет и начинают излучать видимый свет. Различают 3 диапазона ультрафиолетового излучения:

UV-C. 100-280 нм;

UV-B. 280-315 нм;

UV-A. 315-400 нм.

Фокальная точка. Точка на *оптической оси*, в которой пересекаются световые лучи после *преломления* или отражения.

Холодные цвета. Синий и все его оттенки до фиолетового.

Хроматические цвета – это те цвета, их оттенки которые мы различаем в спектре: желтый, оранжевый, красный, синий, голубой, фиолетовый, зеленый (от греч. *chromos*- цвет) - цвета, обладающие особым качеством, отличающим их один от другого. Х.ц. - цвета солнечного спектра, создающегося при преломлении солнечного луча (красный, желтый и др.). Условно цвета спектра располагаются по «цветовому кругу». Эта шкала цветов содержит большое количество переходов от холодных к теплым цветам. Ахроматические цвета - белый, серый, черный. Они лишены цветового тона и различаются только по светосиле (светлоте).

Хроматический тип. Характеристика отличия насыщенного цвета от черного или белого.

Цвет — качество зрительного ощущения, возникающее в результате восприятия световых волн отражаемого или испускаемого излучения в диапазоне от 460 нм (фиолетовый цвет) до 700 нм (пурпурный). Черно-белая шкала не имеет собственного цветового (хроматического) компонента, являясь ахроматической.

Цвет освещения. Цвет освещения зависит от цветовой температуры источника света и условно делится на три уровня.

Цветовая насыщенность. Характеристика цветности. Чем интенсивнее цвет, тем больше его насыщенность.

Цветовая перспектива. Влияние цвета на ощущение объемности изображения. Темные и *холодные цвета определяют* глубину пространства, светлые и *теплые цвета* определяют передний план.

Цветовая последовательность. Последовательность насыщения цвета от одного значения до другого, или до черного или белого.

Цветовая температура — мера объективного впечатления от цвета данного источника света. Измеряется в Кельвинах. Для определения цветовой температуры источника света его цвет сравнивают с цветом эталонного излучателя. Эталонный излучатель поглощает все падающее на него излучение, и поэтому называется абсолютно черным телом. Нагреваясь, абсолютно черное тело приобретает цвет источника света.

2700° К — сверхтеплый белый.

3000° К — теплый белый.

4000° К — естественный белый или нейтральный белый.

>5000° К — холодный белый (дневной).

Цветовое поле. Область для определения положения цвета в *цветовых координатах*.

Цветовой язык — система цветовых знаков, способная нести смысловую, эмоциональную и эстетическую информацию.

Цветовые координаты. Оттенок, насыщенность, яркость.

Цветовое ощущение — общее, субъективное ощущение, которое человек испытывает, когда смотрит на источник света. Свет может восприниматься как теплый белый, нейтральный

белый, холодный белый. Объективное впечатление от цвета источника света определяется цветовой температурой.

Цветовые характеристики — 1) цветовой тон (красный, синий, желтый и др.); 2) светлотой, равной определенной ступени черно-белой шкалы; 3) яркостью, равной свечению эталона; 4) насыщенность — степень разбавления данным цветом белым или процентным содержанием чистого (спектрального) цвета в цветовом эталоне.

Цветопередача. Характеристика светового излучения, освещающего цветной объект. Все предметы имеют свой цвет. Синий предмет кажется нам синим только потому, что его поверхность отражает синие лучи, оказавшиеся в спектре источника освещения.

Элементарные цвета.

- **ОСНОВНЫЕ ЦВЕТА.** Воспринимаемые глазом фиолетово-синий, зеленый и оранжево-красный цвет.

- **АДДИТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЦВЕТА.** Красный, зеленый, синий.

- **СУБТРАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЦВЕТА.** Голубой (cyan), пурпурный (magenta), желтый.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Гуревич М.М. Фотометрия. 2-е издание, переработанное и дополненное. 269 с: ил. Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983 г.
2. Иттен Иоханнес. Искусство цвета. 9-е издание. М.: Издательство: Д. Аронов, 2014 г.
3. Пятницкий, Федор Сергеевич. Цветоведение и цветовоспроизведение: (Введ. в киноэкспонетрию) : [Учеб. пособие для студентов кинооператорского фак.] / Всесоюз. гос. ин-т кинематографии. Науч.-исслед. отд: Кафедра кинотехники. - Москва [б. и.], 1970. - 139 с.
3. Ильина О.В., Бондарева К.Ю. Цветоведение и колористика: учебное пособие / ГОУ ВПО СПбГТУРП. СПб., 2008. - 120с.
4. Медведев В. Ю. Цветоведение колористика: учеб. пособие (курс лекций). — СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2005. - 116с.
5. The Digital Filmmaking Handbook Fourth Edition Sonja Schenk Ben Long 2013 New York, London, Mexico, Paris.
6. Digital Video and Audio Broadcasting Technology A Practical Engineering Guide Third Edition, by Walter Fischer, printed at Springer Heidelberg Dordrecht Germany 2014.
7. Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework Third Edition, by Hervé Benoit, printed at Focal Press Elsevier, USA 2013.
8. Three-dimensional Television. Capture, Transmission, Display. H.M. Oractas, L.Onural (Eds) Springer USA 2014.
9. Килпатрик Д. Свет и освещение: Пер. с англ. —М.: Мир, 1988. - 223с, ил.
10. О.Ильина. Цветоведение и колористика. 2008 г.

Дополнительная литература

11. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажагимизни мард ва олижаноб халкимиз билан бирга курашимиз. 2017.

12. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҲАРАКАТЛАР СТРАТЕГИЯСИ тўғрисида. (Ўзбекистон Республикаси қонун ҳужжатлари тўплами, 2017 й., 6-сон, 70-модда, 20-сон, 354-модда)

13. Келлер Макс. Этот фантастический свет, М.: Театр Строй-Проект Р, 2008. - 240 с.

14. Справочная книга по светотехнике/ Пол. ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. - 972 с: ил. Энергоатомиздат, 2006 г.

15. U.Spierling, N.Szilas. Interactive Storytelling. Springer 2008, 334 p. ISBN 3540894241.

16. Ch.Crawford. Chris Crawford on Interactive Storytelling. Riders Publishing 2012, ebook, 360 p. ISBN 0133119637.

17. N. Wardrip-Fruin, M.Crumpton. First Person: New Media as Story, Performance, and Game. The MIT Press 2006 (first published 2004). 345 p. ISBN 0262731754.

18. J.Lebowitz, Ch.Klug. Player-Centered Approach to Creating Memorable Characters and Stories. 336 p. Focal Press 2011. ISBN 0240817176.

19. Лаврухин Д.В. Колориметрия. –М., ГОУВПО “РГУТИС” 2008. 78 с.

20. Железняков В.Н. Цвет и контраст. –М., ВГИК, 2001г.

Интернет сайты

21. www.gov.uz – Ўзбекистон Республикаси ҳукумат портали.

22. www.lex.uz – Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси.

23. www.tatu.uz
24. www.mtrk.uz
25. www.ziyonet.uz
26. www.edu.uz
27. www.gazeta.uz
28. www.cinefex.ru
29. www.kinopoisk.ru
30. www.wikipedia.ru
31. www.cinemmagazine.com
32. www.vgik.ru
33. www.iskusstvo.ru
34. www.tkt.ru

ПРИЛОЖЕНИЯ

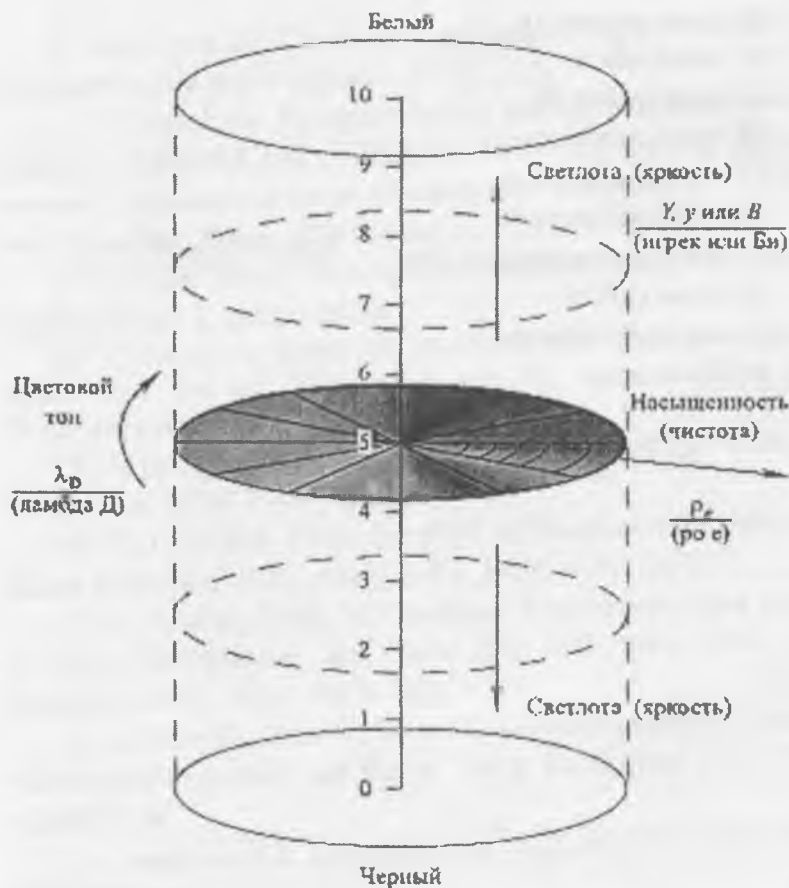


Рис. П.1. Пространственная цветовая модель.

Координация система
цветового пространства А. Х. Манселла. Взаиморасположение
характеристик: цветового тона (λ_D), насыщенности (p) и светлоты (Y)
в цилиндрическом цветовом пространстве. Цветовой тон
и насыщенность (качественные параметры цвета) характеризуют
цветность объекта. Светлота — количественный параметр цвета.

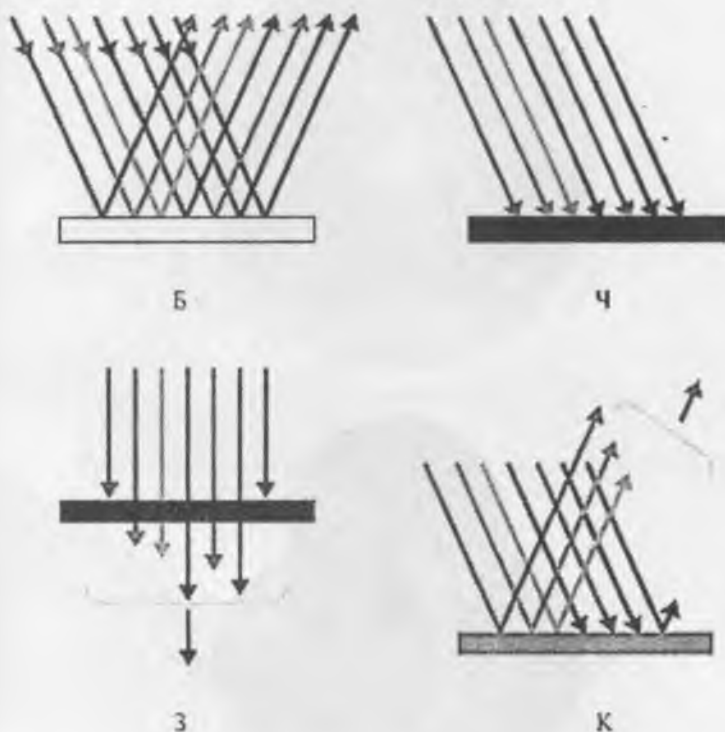
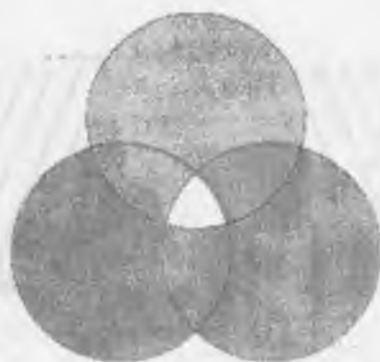
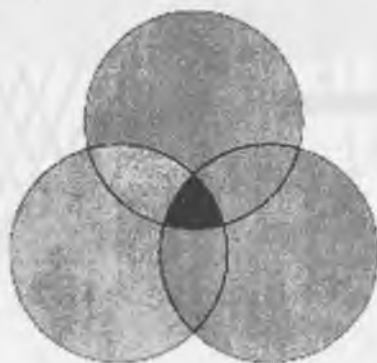


Рис. П.2. Оптические схемы цветообразования:

Б – поверхность воспринимается белой, если она отражает все цвета спектра (оптическое смешение которых и дает белый цвет); Ч – поверхность воспринимается черной, если она полностью поглощает все цвета спектра; З – зеленый светофильтр избирательно пропускает зеленый, синий, голубой, частично желтый, в результате чего воспринимается зеленый цвет определенного оттенка; К – красная отражающая поверхность избирательно отражает красный, оранжевый, желтый, частично фиолетовый, в результате чего воспринимается красный цвет определенного оттенка. Всякое хроматическое тело (окрашенное, прозрачное или непрозрачное) отражает или пропускает лучи «собственного» цвета и поглощает цвет, дополнительный к собственному.



a



б

Рис. П.3. Аддитивный (слагательный) и субтрактивный (вычитательный) способы оптического смешения цветов:
a) получение цветов сложением монохроматических световых потоков цветных источников света — красного, зеленого и синего; в местах попарного перекрывания при проецировании на белый экран образуются желтый, голубой и пурпурный цвета, в центре — белое пятно;
б) получение цветов вычитанием из белого цвета соответствующих излучений при помощи светофильтров пурпурного, голубого и желтого цветов; в местах перекрывания на белом экране образуются красный, фиолетовый и зеленый цвета, в центре — черное пятно.



Рис. П.4. 6-секторный цветовой круг И. В. Гете.



Рис.П.5. 12-лучевая цветовая звезда И. Иттена.
Демонстрирующая ступенчатый переход от чистых хроматических цветов к разбеленным и зачерненным.

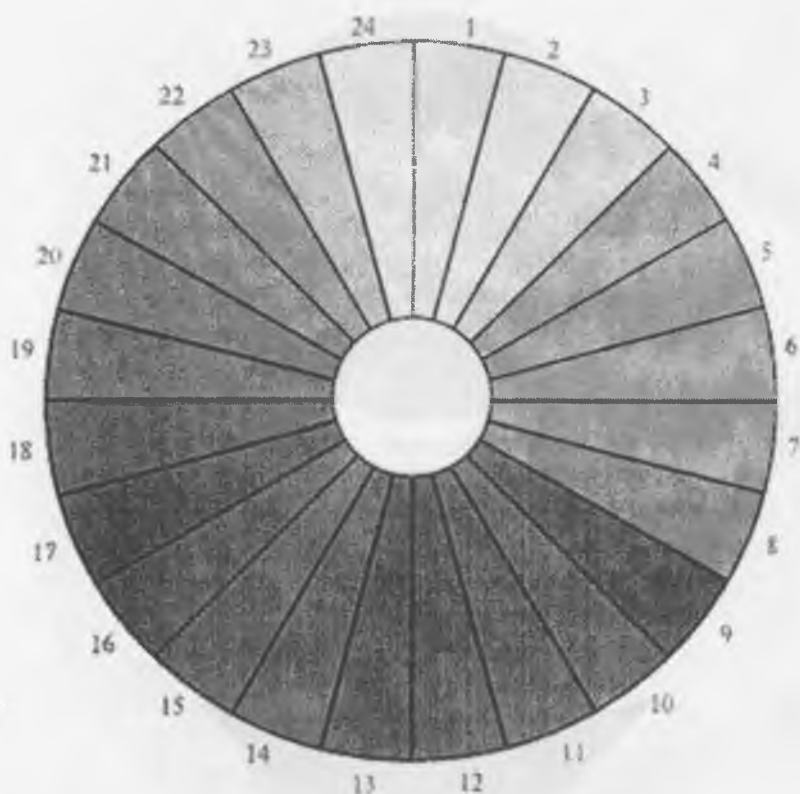


Рис. П.6. Стандартный 24-секторный цветовой круг.

Последовательность цветовых тонов:

- 1) желтый; 2) оранжево-желтый; 3) желто-оранжевый;
 4) желтовато-оранжевый; 5) оранжевый; 6) красновато-оранжевый;
 7) оранжево-красный; 8) оранжево-красный; 9) красный;
 10) пурпуровато-красный; 11) пурпурный;
 12) фиолетовато-пурпурный; 13) фиолетовый;
 14) синевато-фиолетовый; 15) сине-фиолетовый;
 16) фиолетовато-синий; 17) синий; 18) зеленовато-синий;
 19) сине-зеленый; 20) синевато-зеленый; 21) зеленый;
 22) желтовато-зеленый; 23) желто-зеленый; 24) зеленовато-желтый.



Рис. П.7. 12-секторный цветовой круг И. Иттена, с включенными в него треугольником, представляющим три основных независимых цвета, и шестигранником, представляющим смеси этих цветов.



Рис. П.8. Цветовой график МКО (Международной комиссии по освещению) — инструмент исследований в области колориметрии и определения цветов. Здесь выявлена структура изменения насыщенности (чистоты) цвета нескольких основных цветовых тонов, расположенных на графике вдоль границы области цветности всех цветов, воспроизводимых монохроматическом светом.

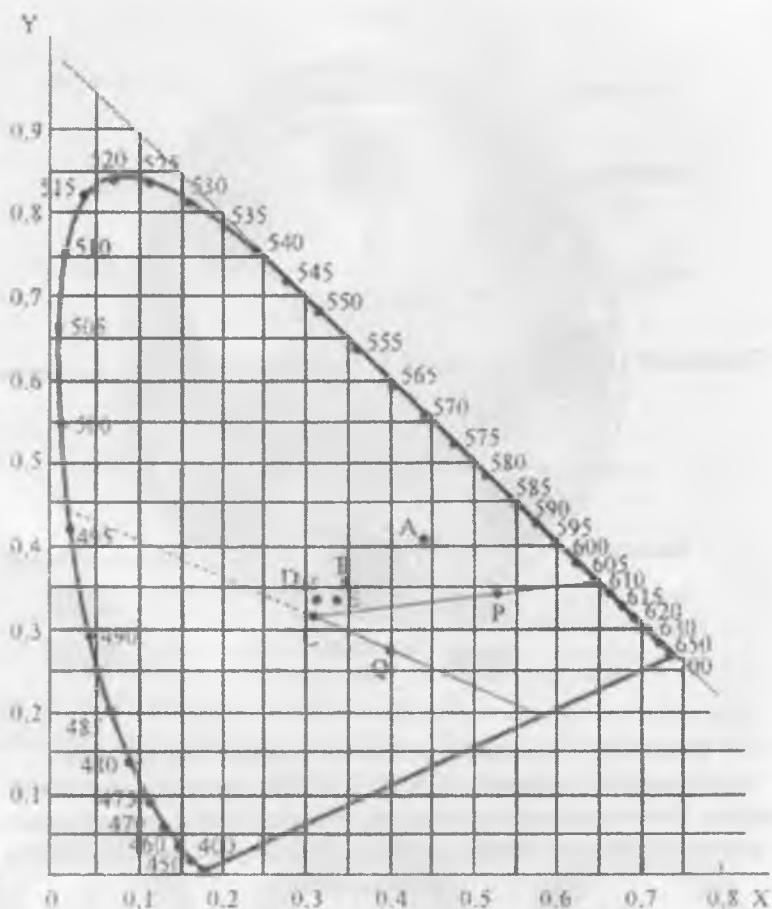


Рис. П.9. Цветовой график М КО.

Для определения доминирующей длины волны (нм) спектральных цветов или дополнительны длины волны пурпурных цветов вдоль линии спектральных цветностей указаны длины волн монохроматического цвета. В качестве точки отсчета используется точка цветности для стандартного излучения (A, B, C, D65 МКО) или для равноэнергетического света (E). На графике точка C — цветность излучения С МКО (дневной свет); точка P — цветность пигмента кадмия красного (длина волны 605 нм). Чистота цвета — частное от деления отрезка CP на всю длину линии (до точки 605).

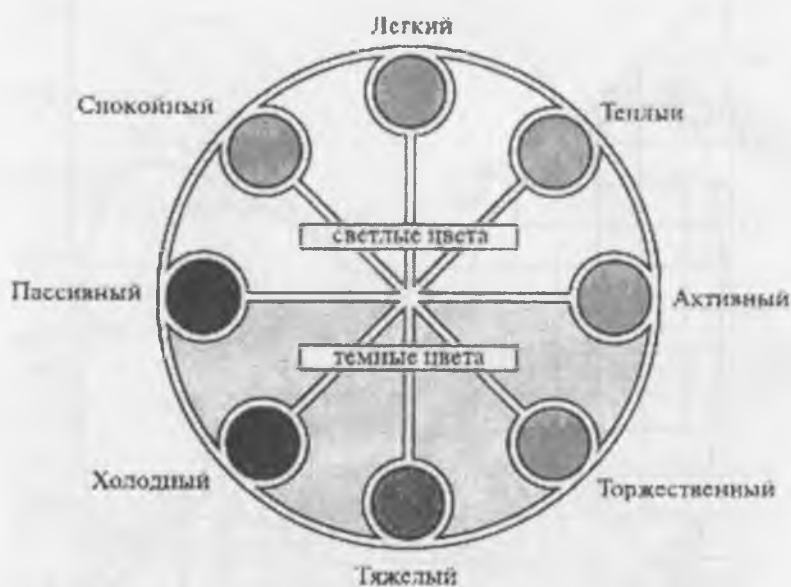


Рис. П.10. Основные психологические ассоциации, вызываемые парами дополнительных цветов в цветовой круге. Диаметральны противоположные цвета, показанные в кружках на этой схеме, вызывают контрастные по смыслу ассоциации.



— легкие светлые цвета, отступающие, успокаивающие

— выступающие цвета, активные, возбуждающие

— темные цвета, отступающие

— тяжелые цвета, угнетающие

Рис. П.11. Психологическое восприятие цветов спектра как легких или тяжелых; светлых или темных; выступающих или отступающих.



Рис.П.12. Схемы согласования контрастных цветов. Контрастные по цветовому тону цвета располагаются в большом хроматическом интервале цветового круга (1/2). Они полярны и взаимодополнительны. Их сочетания являются наиболее яркими и активными.



Рис.П.13. Схемы согласования родственных цветов.

Нюансные по цветовому тону цвета располагаются в малом хроматическом интервале цветового круга ($1/8—1/4$). Их связывает один из психологически независимых цветов (красный, зеленый, синий или желтый), и они не содержат оттенков контрастных цветов.

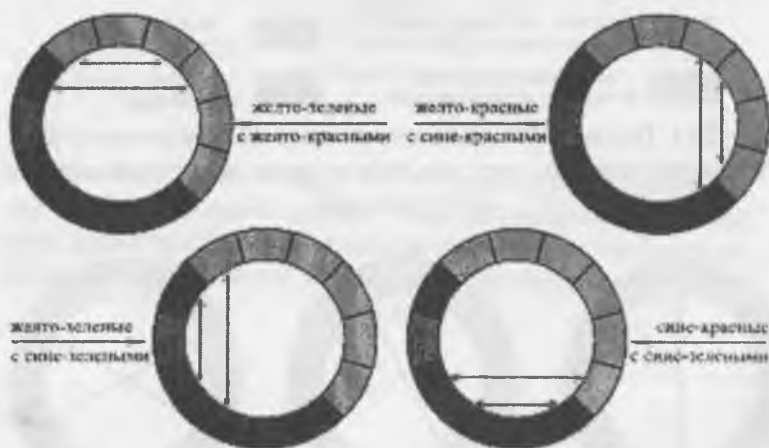


Рис. П.14. Схемы согласования родственно-контрастных цветов.

Пары таких цветов располагаются в среднем хроматическом интервале цветового круга ($1/4—1/2$), в его соседних основных четвертях.

Их гармония основана на признаке родства по какому-либо цвету и противоположности размещения в какой-либо половине цветового круга.



Рис. П.15. Схемы согласования цветовой триады:

- а) цвета располагаются в углах равностороннего треугольника, вписанного в круг. Это — сочетание двух родственно-контрастных цветов и цвета, контрастного к цветовому тону, находящемуся между ними в цветовом круге;
- б) цвета располагаются в углах равностороннего треугольника, вписанного в круг. Это — сочетание двух родственных цветов и цвета, контрастного к цветовому тону, находящемуся между ними в цветовом круге.



Рис. П.16. Оптические иллюзии. Явления одновременного контраста. Светлотный (ахроматический) контраст: кажущееся изменение степени светлоты пятна в зависимости от степени светлоты фона.

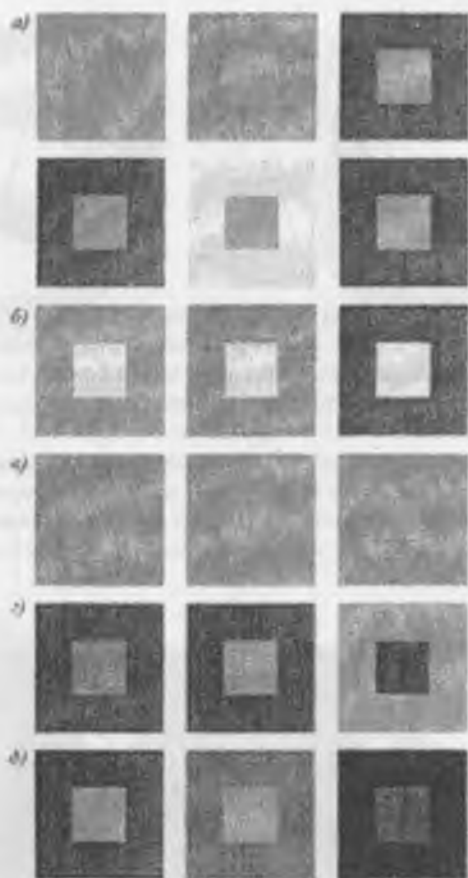


Рис. П.17. Оптические иллюзии.
Явления одновременного контраста.

Хроматический контраст:

а) кажущееся изменение оттенка пятна ахроматического цвета на различных по цветовому тону хроматических фонах;

б) кажущееся изменение оттенка пятна хроматического цвета на различных по цветовому тону хроматических фонах;

в) эффект изменения цвета тем больше, чем меньше площадь пятна по отношению к площади фона;

г) на фоне своего дополнительного цвета цвет пятна приобретает большую насыщенность;

д) на фоне своего цветового тона, но большей насыщенности, цвет пятна теряет свою насыщенность.

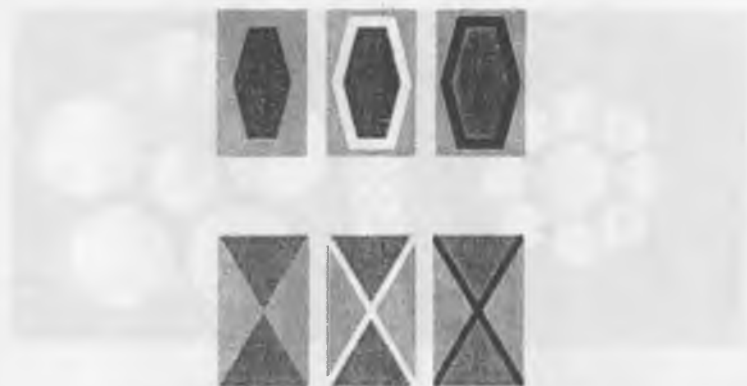


Рис. П.18. Оптические иллюзии. Явления пограничного контраста:

кажущееся потемнение и посветление соседних цветовых пятен на плоскости (примыкающих краями друг к другу) у границ их соприкосновения. Возникающая иллюзия неравномерно окрашенных или освещенных поверхностей (эффект выпуклости-вогнутости) устраняется путем разграничения соседних пятен черным или белым контуром.

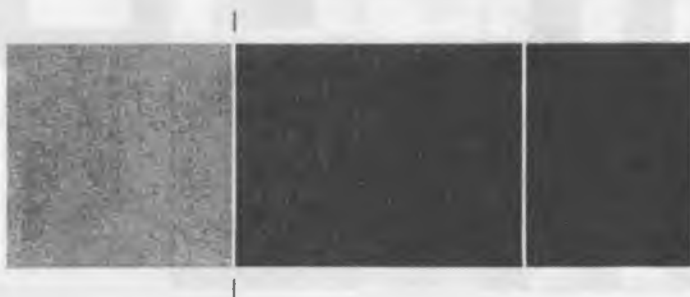


Рис. П.19. Оптические иллюзии.

Явление последовательного контраста. Адаптация и понижение чувствительности глаза к определенному цвету. Пример, половина красного пятна, закрываемого на 15-20 сек черной маской, кажется ярче, чем наблюдаемая открытая его часть после быстрого оттибания черной маски (на рисунке маска закрывает половину красного поля).

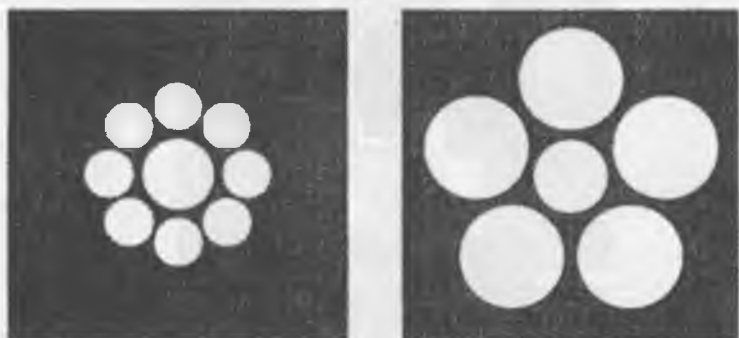


Рис. П.20. Оптические иллюзии.

Общепсихологический закон контраста. Кажущееся изменение площади одинаковых фигур, помещенных на соседних фонах среди двух разных по величине групп окружающих фигур. Пример, круг посередине меньших по диаметру кругов кажется больше, чем одинаковый с ним круг в окружении больших по диаметру кругов.

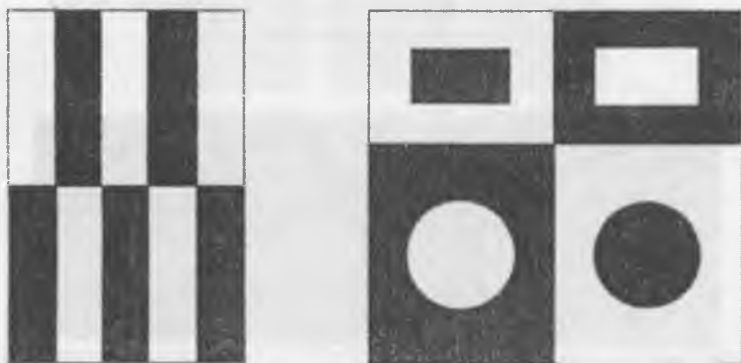


Рис. П.21. Иррадиация.

Кажущееся увеличение площади светлых фигур ил темном фоне по сравнению с темными равновеликими фигурами на светлом фоне. Это – положительная иррадиация. Обратная картина – отрицательная иррадиация, наблюдаемая при малой яркости фона.



а) ишлюзия выпуклости;

в) иллюзия ряда сходящихся и расходящихся (в действительности параллельных) линии, пересеченных под углом короткими отрезками параллельных линий, наибольший эффект при угле 45° , (эффект Ф. Целльнера);

д) иллюзия излома наклонной линии, пересекаемой параллельными прямоугольниками (эффект Поттендорфа);

е) иллюзия большей длины вертикальных линий по сравнению с горизонтальными, заполняющими одинаковые по площади квадраты;

ж) иллюзия искажения геометрической фигуры, частично пересекаемых параллельными или изогнутыми под тупым углом рядами линий;

317

Таблица П. 1.

Систематизация основных типов цветовых гармоний

№ группы	Типологическая группа гармоний	№ типа (под-типа)	Наименование типа (подтипа) гармонии и его характерные признаки, описание	Примеры типов гармоничных цветосочетаний
1	2	3	4	5
I	Полихроматические гармонии хроматических цветов (с одинаковой или различной степенью насыщенности и (или) светлоты)	1	Гармония контрастных цветов – гамма (сочетание) полярных взаимодополнительных цветов, противостоящих друг другу в цветовом круге. Они расположены в большом хроматическом интервале – $\frac{1}{2}$ цветового круга	
		2	Гармония родственных цветов – гамма цветов, расположенных в малом хроматическом интервале – $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ цветового круга. Их связывает один из чистых психологически независимых цветов и они не содержат оттенков контрастных (по цветовому тону) цветов.	

Продолжение табл. П.1.

1	2	3	4	5
		3	Гармония <i>родственно-контрастных</i> цветов – гамма цветов, расположенных в соседних четвертях цветового круга в среднем хроматическом интервале – $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ круга. Их признаки – родство по какому-либо одному из независимых цветов и противоположность размещения в какой-либо половине круга (левой или правой, верхней или нижней)	 
		4 4.1	Гармония триады. Гармония двух родственных и одного <i>контрастного</i> цветов – (см. п.2) и цвета, контрастного к цветовому тону, находящемуся между ними в цветовом круге.	
		4.2	(Цвета расположены в углах равнобедренного треугольника вписанного в круг). Гармония двух родственно-контрастных цветов	

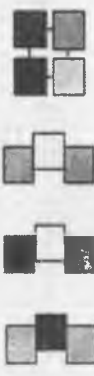
Продолжение табл. II.1.

1	2	3	4	5
			(см. п.3) и цвета, контрастного к цветовому тону, находящегося между ними в круге. (Цвета расположены в углах равностороннего треугольника, вписанного в цветовой круг).	
II	Монохроматические гармонии хроматических цветов	5	<i>Эквигональные гармонии</i>	
		5.1	Монохроматическая гамма оттенков одного цветового тона разной светлоты при их одинаковой насыщенности	
		5.2	Монохроматическая гамма оттенков одного цветового тона одинаковой светлоты при их разной насыщенности	
		5.3	Монохроматическая гамма оттенков одного цветового тона разной светлоты и разной насыщенности	

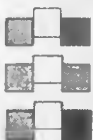
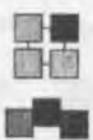
Продолжение табл. П.1.

1	2	3	4	5
III	Монохроматические гармонии ахроматических цветов	6 6.1 6.2 6.3	Гармонии различных оттенков серого цвета, отличающихся по светлоте <i>Контрастная</i> по светлоте гамма оттенков серого цвета <i>Нюансная</i> по светлоте гамма оттенков серого цвета <i>Контрастно-нюансная</i> по светлоте гамма оттенков серого цвета	
IV	Полихроматические гармонии ахроматических цветов	7. 7.1 7.1.1. 7.1.2.	Гармонии сочетаний ахроматических цветов: белого, черного и серого различной светлоты. Гармония ахроматического контраста: сочетание черного цвета с белым; сочетание темно-серых цветов с белым;	

Продолжение табл. П. 1.

1	2	3	4	5
		7.2.	Гармония ахроматического нюанса: сочетание светлых серых цветов с белым.	
		7.3.	Контрастно-нюансная ахроматическая гармония:	
		7.3.1.	гамма, включающая контрастные и нюансные по светлоте оттенки серого;	
		7.3.2.	гамма, включающая различные по светлоте оттенки серого, а также черный и (или) белый.	
V	Полихроматические гармонии ахроматических цветов с хроматическими (имеющими разную степень насыщенности и светлоты)	8.	Гармонии сочетаний различных по цветовому тону, насыщенности и светлоте хроматических цветов (чистых, разбеленных или зачерненных) с различными ахроматическими.	
		8.1.	Гамма хроматических и (или) ненасыщенных цветов с серыми цветами разной светлоты.	

Продолжение табл. П. 1.

1	2	3	4	5
		8.2.	Гамма хроматических и (или) ненасыщенных цветов с белым и серым.	
		8.3.	Гамма хроматических и (или) ненасыщенных цветов с черным и белым.	
		8.4.	Гамма хроматических и (или) ненасыщенных цветов с черным и серым.	
		8.5.	Гамма хроматических цветов с белыми:	
		8.5.1.	Контрастная – при насыщенных цветах;	
		8.5.2.	Нюансная – при ненасыщенных (разбелённых) цветах.	
		8.5.3.	Контрастно-нюансная – при сочетании разбелённых и зачернённых цветов.	
		8.6.	Гамма хроматических цветов с чёрным:	
		8.6.1.	Контрастная – при ненасыщенных (разбелённых) или насыщенных и светлых цветах;	

Продолжение табл. П.1.

1	2	3	4	5
		8.6.2. 8.6.3.	Нюансная – при ненасыщенных (зачерненных) цветах, имеющих невысокий уровень светлоты. Контрастно-нюансная – при сочетании с чёрным насыщенными и ненасыщенными цветами, имеющих разный уровень (коэффициент) светлоты.	
VI	Монохроматические гармонии сложных цветовых смесей и их сочетаний с ахроматическими цветами	9 9.1.	Гармонии смесей и сочетаний насыщенного хроматического цвета с ахроматическими цветами разной светлоты. Гамма плавного или ступенчатого перехода от чистого хроматического цвета определённого цветового тона к черному и (или) белому через смеси с серыми цветами различной светлоты.	

Продолжение табл. П. 1.

1	2	3	4	5
		9.2.	Гамма «цветного» серого цвета, образованная его оттенками различной светлоты (результата смешения небольшого количества какого-либо хроматического цвета с оттенками серого).	
VII	Полихроматические гармонии сложных смесей и их сочетаний с ахроматическими цветами	10.	Гармонии сложных ненасыщенных хроматических цветов и их сочетаний с ахроматическими.	
		10.1.	Гамма ненасыщенных хроматических цветов (сложных смесей двух-трех и более спектральных цветовых тонов, пурпурных цветов и их промежуточных оттенков друг с другом и с ахроматическими цветами различной светлоты).	
		10.2.	Гамма «цветных» серых различной светлоты и цветности (смеси различных ненасыщенных	

1	2	3	4	5
		10.3.	Гамма хроматических ненасыщенных цветов разной насыщенности и светлоты (сложных смесей — см. 10.1), соче- тающихся с ахроматическими цветами (черным, белым и (или) серыми различной светлоты и чистоты (чистыми и (или) «цвет- ными» серыми).	Продолжение табл. П.1.
			хроматических цветов по- отдельности с чистыми серыми различной светлоты с преобладанием в смесях ахромати- ческого цвета).	

Таблица П.2.

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЦВЕТА. АССОЦИАЦИИ. СИМВОЛИКА

№ пп	Основные цвета. Наименование	Зрительные впечатления. Ассоциации						Первое ощущение цвета	Психологическое восприятие цвета	Основные символические значения, их знаково-коммуникативный смысл
		Расстояние	Объем	Масса	Температура	Светлота (яркость)	Движение			
1	КРАСНЫЙ 	Очень близкий, выступающий	Увеличивающийся в ширину	Тяжелый	Горячий	Яркий	Активный, динамичный	Возбуждающий, порождающий	Тревожный, страстный, жизнеутверждающий	Огонь, любовь, феерия, мужество, энергия, сила, смелость, достоинство, власть, война, кровь
2	ОРАНЖЕВЫЙ 	Близкий, выступающий	Увеличивающийся, играющий объемом	Легкий	Теплый	Слепящий, сверлящий	Динамичный, подвижный	Дурманящий, страстный	Увлекательный, стимулирующий к деятельности	Тепло, солнце, радость, наслаждение, праздник, великодушие, благородство
3	ЖЕЛТЫЙ 	Приближающийся, выступающий	Слегка увеличивающийся объем	Легкий	Теплый	Яркий, струящийся	Подвижный, но эффективный	Приятный, радостный	Веселый, беспечный, живой	Движение, жизненность, чистота, ясность, уважение, величие, великолепие, богатство
4	ЗЕЛЕНЫЙ 1 2 3 	Нейтральный (1, 2), отступающий (3)	Нейтральный	Легкий (1), неопределенный (2, 3)	Теплый (1), нейтральный (2), прохладный (3)	Светлый (1), спокойный (2), темный (3)	Живой (1), инертный (2), статичный (3)	Свежий, ясный, успокаивающий	Нежный (1), умиротворяющий, спокойный, безопасный (2, 3)	Свобода, ликование, надежда, покой, мир, здоровье, спасение, ясность духа, скромность, нежность, кротость
5	ГОЛУБОЙ 	Удаляющийся, отступающий	Воздушный	Легкий	Прохладный	Светлый или нейтральный	Пассивный, спокойный	Чистый, завораживающий	Спокойный, воздушный, прозрачный	Чистота, разум, постоянство, нежность, добродетель, мир, вечность
6	СИНИЙ 	Далеккий, отступающий	Уменьшающийся в ширину	Тяжелый	Очень холодный	Темный	Застывший, неподвижный	Настораживающий	Строгий, отдаляющий, таинственный	Слава, честь, верность, искренность, безупречность, непорочность, вселенная
7	ФИОЛЕТОВЫЙ 1 2 	Далеккий отступающий	Уменьшающийся, делающий изящнее	Тяжелый (2), неопределенный (1)	Туманно-прохладный (1), холодный (2)	Светлый (1), очень темный (2)	Спокойный (1), застывший (2)	Грустный (1), угнетающий, пугающий, утомляющий	Беспокоящий, таинственный (1), важный,	Грусть, печаль, меланхолия (1, 2); мудрость, зрелость; господство, высший разум; космическое пространство

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	ПУРПУРНЫЙ 1 2 3 	Приближающийся (1), отступающий (3)	Играющий объемом, чуть увеличивающий	Тяжелый (1, 3), неопределенный (2)	Теплый (1), нейтральный (2, 3)	Яркий (1), нейтральный (2), темный (3)	Подвижный (1), спокойный (2), статичный (3)	Возбуждающий (1), настораживающий (2, 3)	Роскошный, возбуждающий, напряженный	Власть, верховенство, величие, достоинство, сила, могущество, крепость
9	КОРИЧНЕВЫЙ 1 2 3 	Нейтральный (1), отступающий (2), далекый (3)	Нейтральный или сокращающий объем	Неопределенный (1), тяжелый (2, 3)	Теплый (1, 2), нейтральный (3)	Нейтральный (1), темный (2, 3)	Статичный	Успокаивающий, надежный	Земной, сухой (1), твердый, спокойный, сдерживающий (2, 3)	Строгость, сдержанность, постоянство, скрытность, благородство, зрелость
10	БЕЛЫЙ 	Приближающийся	Увеличивающий объем	Легкий	Прохладный	Очень светлый	Пассивный, спокойный	Чистый, стерильный	Благородный, целомудренный, ясный	Чистота, мудрость, невинность, безмятежность души, мир, дух просветления
11	СЕРЫЙ 1 2 3 	Удаляющийся, отступающий	Нейтральный или сокращающий объем	Легкий (1), неопределенный (2), тяжелый (3)	Нейтральный (1, 2), холодный (3)	Светлый (1), тусклый (2), темный (3)	Статичный	Спокойный, инертный	Вызывающий меланхолию, грусть	Строгость, замкнутость, благородство, скромность, печаль, грусть, тоска
12	ЧЕРНЫЙ 	Далекый, отступающий	Уменьшающий объем	Тяжелый	Холодный	Мрачный	Неподвижный, замёрзший	Равнодушный, угнетающий	Печальный, грустный, траурный, бесконечный	Постоянство, скромность, строгость, торжественность, мир как покой, ночь, траур, смерть

Примечания. 1) Светлота (яркость) в этой таблице не рассматриваются как одна из трёх колориметрических характеристик цвета (наряду с цветовым тоном и насыщенностью). Здесь по этому показателю сравнивается относительная светлота (яркость) каждого из 12 цветов по отношению к другим цветам таблицы как феномен зрительного впечатления. 2) В таблице приводятся характеристики психологического воздействия и символического значения каждого из 12 цветов, взятых изолированно, вне сочетаний друг с другом и иными цветами. Парные, тройные и полихроматические сочетания (хроматических и ахроматических цветов) характеризуются своими особенностями цветового восприятия.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ ФОТОМЕТРИИ	
ГЛАВА I. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ.....	9
1.1. Величины, термины и методы в фотометрии и цветоведении.....	9
1.1.1. Основные фотометрические величины и единицы	9
1.1.2. Основные понятия и термины в фотометрии и цветоведении.....	13
1.1.3. Применение методов фотометрии.....	15
1.1.4. Световая энергия и экспозиция.....	23
1.2. Законы освещенности и просветленная оптика ...	26
1.2.1. Закон обратных квадратов.....	26
1.2.2. Закон косинуса.....	32
1.2.3. Просветление оптики. Просветленная оптика.....	35
1.3. Методы измерения световых характеристик источников света.....	40
1.3.1. Принципиальные схемы фотометров прямого отсчета, работающих по принципу сравнения.....	40
1.3.2. Виды фотометрических измерений.....	43
1.3.3. Фотометрический шар, принцип использования фотометрического шара для измерений светового потока.....	51
1.4. Фотометрические свойства тел.....	57

1.4.1. Изучение отражения, поглощения, пропускания света различными материалами.....	57
1.4.2. Соотношения между коэффициентами отражения, пропускания и поглощения.....	59
1.4.3. Гладкая поверхность.....	62
1.4.4. Поглощение света в веществе.....	66
1.4.5. Светорассеивающая поверхность.....	69
1.4.6. Рассеяние света в мутной среде.....	72
Контрольные вопросы.....	74
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОМЕТРИИ В ПРОЦЕ-	
САХ ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЪЕМКИ.....	75
2.1. Основные понятия и термины в экспонетрии...	75
2.1.1. Экспозиция.....	75
2.1.2. Освещенность.....	76
2.1.3. Ключевой свет.....	76
2.1.4. Контраст освещения и контраст светлот.....	77
2.1.5. Интервал яркости.....	77
2.2. Операторские оценки условий освещения.....	78
2.2.1. Количественное управление световым потоком.....	78
2.2.2. Виды оценок экспонетрических условий съемки..	84
2.2.3. Яркомеры и измерения яркости.....	86
2.2.4. Определения интервала яркости объекта.....	88
2.2.5. Особенности измерений освещенности.....	90
2.2.6. Измерения контраста освещения.....	91
2.3. Расчеты и регулировки освещения и экспозиции.	93
2.3.1. Экспонетрические формулы.....	93
2.3.2. Принцип построения калькулятора экспонетра.....	94

2.3.3. Определения общей экспозиции по местным яркостям объекта съемки.....	95
2.3.4. Регулирование величин общей и местных экспозиций.....	99
2.3.5. Цветовая температура в экспонетрических расчетах.....	101
2.3.6. Изменения плотности негатива при изменениях освещенности объекта съемки.....	102
2.3.7. Новое в технике определения экспозиции.....	103
2.4. Световая композиция.....	105
2.4.1. Понятие световой композиции.....	105
2.4.2. Средства световой композиции.....	107
2.4.3. Контраст в световой композиции.....	108
2.4.4. Соподчинение и масштаб.....	109
2.4.5. Симметрия.....	112
2.4.6. Пространство света.....	118
2.4.7. Съемки в интерьере.....	120
Контрольные вопросы.....	122

ЧАСТЬ 2. ОСНОВЫ ЦВЕТОВЕДЕНИЯ

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ЦВЕТА.....

3.1. Основы новой модели цифрового цвета.....	123
3.1.1. Как человеческий глаз видит цвета.....	124
3.1.2. Определение основных цветов.....	125
3.1.3. Аддитивный и субтрактивный цвет.....	126
3.1.4. Цветовые модели.....	127
3.1.5. Хранение изображений в компьютере.....	127
3.1.6. Представление цветовой гаммы.....	128

3.1.7. Смешивание цветов.....	129
3.1.8. Выбор цвета.....	130
3.1.9. Манипуляции с цветом.....	130
3.1.10. Определение цветов и калибрация.....	131
3.2. Основы теории цвета.....	132
3.2.1. Определение понятия цвета.....	132
3.2.2. Система CIE RGB.....	137
3.2.3. Нереальные цвета. Система CIE XYZ.....	143
3.2.4. Двенадцатичастный цветовой круг.....	156
3.3. Семь типов цветовых контрастов.....	159
3.3.1. Контраст по цвету.....	160
3.3.2. Контраст светлого и темного.....	162
3.3.3. Контраст холодного и теплого.....	171
3.3.4. Контраст дополнительных цветов.....	177
3.3.5. Симультанный контраст.....	180
3.3.6. Контраст по насыщенности.....	184
3.3.7. Контраст по площади цветовых пятен.....	188
3.4. Пространственное воздействие цвета.....	194
3.4.1. Теория цветовых впечатлений.....	194
3.4.2. Теория цветовой выразительности.....	200
3.4.3. Композиция.....	214
3.4.4. Цветовой шар.....	218
3.4.5. Форма и цвет.....	224
3.5. Характеристики цвета объекта съемки.....	228
3.5.1. Общие замечания о понятиях «свет» и «цвет».....	228
3.5.2. Понятие цвета объекта съемки.....	228
3.5.3. Описательные характеристики цвета окраски тел....	229
3.5.4. Светлота.....	229

3.5.5. Цветовой тон.....	230
3.5.6. Насыщенность.....	231
3.5.7. Характеристики цветов излучений и самосветящихся тел.....	232
3.5.8. Яркость.....	232
3.5.9. Тон.....	235
3.5.10. Теплые и холодные цвета.....	235
Контрольные вопросы.....	235
ГЛАВА 4. ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ЦВЕТА.....	237
4.1. Фотографическое цветовоспроизведение. Основные понятия и термины.....	237
4.1.1. Тоновоспроизведение и цветовоспроизведение.....	237
4.1.2. Точность фотографической цветопередачи.....	237
4.1.3. Цвета в кадре первоначальные и повторные.....	238
4.1.4. Фотографическая яркость.....	239
4.2. Спектральные характеристики цвета.....	242
4.2.1. Способы выражения спектральных характеристик цвета.....	243
4.2.2. Приближенные определения цвета по его спектральной характеристике.....	245
4.2.3. Некоторые типичные цвета объектов съемки.....	248
4.3. Образование цветов.....	250
4.3.1. Два способа смешения цветов.....	250
4.3.2. Три закона аддитивного смешения цветов.....	251
4.3.3. Три способа аддитивного смешения цветов.....	252
4.3.4. Способы получения цветов субтрактивным смешением.....	253

4.3.5. Изменения цвета объекта съемки в зависимости от освещения.....	253
4.3.6. Цветные рефлексы.....	258
4.3.7. Отличие ощущения от восприятия.....	258
4.3.8. Ощущения цвета и цветности.....	259
4.3.9. Дефекты цветового зрения.....	261
4.3.10. Адаптация глаза.....	262
4.3.11. Особенности зрения при низких и высоких освещенностях.....	263
4.4. Восприятие цвета.....	264
4.4.1. Явление кажущихся цветов.....	264
4.4.2. Виды цветовых контрастов.....	265
4.4.3. Закономерности одновременного цветового контраста.....	265
4.4.4. Закономерности последовательного цветового контраста.....	266
4.4.5. Объяснение цветовых контрастов.....	267
4.4.6. Фактор времени в цветовом контрасте.....	268
4.4.7. Действие последовательных образов на восприятие цветов.....	269
4.4.8. Практическое значение цветовых контрастов.....	270
4.4.9. Явление цветных теней.....	270
4.4.10. Иллюзия пространства при наблюдении цветов.....	271
4.4.11. Иллюзия освещения.....	272
4.5. Измерения цвета.....	273
4.5.1. Виды и цели измерения цвета.....	273
4.5.2. Спектральные измерения цвета.....	274
4.5.3. Измерения цветовых характеристик.....	275

4.5.4. Системы цветовых координат.....	277
4.5.5. Особенности международной системы измерений цвета.....	279
4.5.6. Цветовой график МКО.....	280
4.5.7. Практические применения цветового графика МКО..	282
4.5.8. Простейшие измерения цвета.....	283
Контрольные вопросы.....	285
Заключение.....	287
Глоссарий.....	289
Использованная литература.....	299
Приложение.....	302

**ПАРМАНКУЛОВ И.П., БАЗАРБАЕВ Б.Ж.,
ТАШМУХАМЕДОВА Г.Х.**

ФОТОМЕТРИЯ И ЦВЕТОВЕДЕНИЕ

Ташкент – «Fan va texnologiya» – 2019

Редактор:	Д.Вахидова
Тех. редактор:	А.Мойдинов
Художник:	А.Шушунов
Корректор:	Ш.Миркасимова
Компьютерная вёрстка:	Н.Рахматуллаева

**Е-mail: tipografiyacent@mail.ru Тел: 71-245-57-63, 71-245-61-61.
Изд.лиц. АIN№149, 14.08.09. Разрешено в печать 22.11.2019.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Гарнитура «Times New Roman».
Офсетная печать. Усл. печ.л. 21,75. Изд. печ.л. 21,0.
Тираж 200. Заказ № 228.**

**Отпечатано в типографии
«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi».
100066, г. Ташкент, ул. Алмазар, 171.**

FAN VA
TEKNOLOGIYALAR

ISBN 978-9943-6150-9-0



9 789943 615090