

Тема 2. ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА

2.1. Органы зрения

В процессе зрительного восприятия участвуют: 2 глаза, 2 зрительных нерва и зрительный центр головного мозга. Подобно фотокамере, глаз отображает предметы. Зрительный центр головного мозга воспринимает и анализирует это отображение. А зрительный нерв служит проводником информации от глаза к зрительному центру головного мозга. Зрение дает нам информацию о величине, форме и цвете предметов, их взаимном расположении и расстоянии между ними, т.е. помогает нам ориентироваться и получать информацию об окружающей нас обстановке.

Глаз

Глаз представляет собой шарообразное тело, оно помещается в глазнице. На рис. 2.1 показан схематичный горизонтальный разрез глаза.

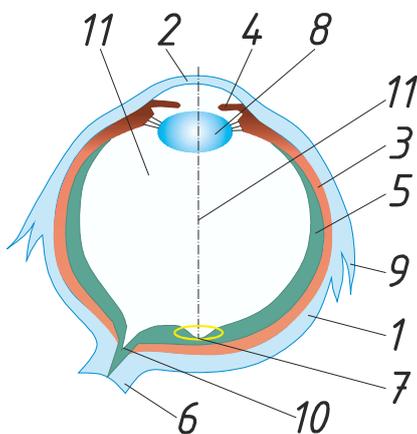


Рис. 2.1. Горизонтальный разрез правого глаза:
1 – склера; 2 – роговая оболочка; 3 – сосудистая оболочка; 4 – радужная оболочка; 5 – сетчатая оболочка; 6 – зрительный нерв; 7 – центральная ямка; 8 – хрусталик; 9 – глазная мышца; 10 – слепое пятно, 11 – зрительная ось.

Наружная часть глаза (*склера*) представляет собой полупрозрачную упругую оболочку белого цвета (в обиходе называют белком глаза), она защищает глаз и сохраняет его форму. В передней части склера переходит в прозрачную *роговую оболочку*. Её внешняя поверхность постоянно промывается соленой водой, которая поступает через слезные протоки, и очищается при мигании век.

Под роговой оболочкой расположена сосудистая оболочка. Та её часть, что видна через прозрачную роговую оболочку – *радужная оболочка*, по цвету которой судят о цвете глаз; чем меньше коричневого пигмента – меланина, тем светлее глаза. Радужка играет такую же роль в

глазу, как диафрагма в фотоаппарате – регулирует количество света, поступающего в глаз, благодаря чему *зрачок* (круглое отверстие в радужной оболочке) при сильном свете суживается (до 2 мм), а при слабом расширяется (до 8 мм) за счет радиальных мышц. Но радужная оболочка реагирует не только на различия в яркости. При одинаковой объективной яркости зрачок реагирует на красный и желтый свет сужением, а на синий и зеленый – расширением.

Хрусталик – это светопреломляющая среда глазного яблока. Он отбрасывает на сетчатую оболочку обратное, уменьшенное изображение поля обзора. Он прозрачен, имеет форму двояковыпуклой линзы диаметром 9-10 мм, обладает упругостью и скреплен своими краями со специальными мышцами. Посредством этих мышц может изменяться кривизна поверхности хрусталика. В фотоаппаратах отчетливое изображение (фокусировка) достигается путем перемещения линзы

вперед или назад по отношению к фотопластинке. В глазу же эта фокусировка совершается автоматически. Когда мы переводим взгляд с удаленного предмета на расположенный ближе (или наоборот), то мышцы, с которыми соединен хрусталик, сжимаются или разжимаются, и хрусталик приобретает нужную кривизну, обеспечивающую четкое изображение рассматриваемого предмета на глазном дне [1]. Такой процесс называется *аккомодацией* глаза. С возрастом вещество хрусталика постепенно теряет свою упругость, так что растягивающие мышцы на него уже не действуют. Так наступает время, когда нам для работы необходимы очки. Кроме того, с возрастом хрусталик желтеет, а иногда и так сильно изменяется, что совершенно теряет свою прозрачность – наступает катаракта.

Внутренняя часть глаза наполнена прозрачным *стекловидным веществом*. Его оптические свойства далеки от совершенства: обычно в нем свободно плавают пеплообразные и нитеобразные частицы ткани. Они отбрасывают тени, которые можно увидеть при рассматривании любой яркой и однородно окрашенной поверхности. Как правило, эти тени имеют вид медленно перемещающихся почти прозрачных полосок и бусинок, переплетенных змеек и т.д. [2]. Несмотря на эти несовершенства оптических свойств стекловидного тела, оптическая система глаза может формировать очень четкое изображение посредством светочувствительного слоя глаза, т.е. его *сетчатки*.

Сетчатка примыкает к сосудистой оболочке, состоит из нескольких прозрачных слоев и имеет очень сложное строение. Последний слой сетчатки, на котором получается четкое изображение рассматриваемого нами предмета, состоит



Рис. 2.2. Светочувствительные клетки глаза

из светочувствительных клеток двух видов: колбочек и палочек. Диаметр палочек составляет около 2 мкм, а колбочек — около 6 мкм. Под воздействием света в зрительных клетках возникают фотохимические реакции. Для этого в колбочках и палочках есть светочувствительные пигменты: в

палочках — родопсин (зрительный пурпур), в колбочках — йодопсин [3]. Под действием света эти пигменты выцветают и восстанавливаются с помощью сосудистой оболочки, причем восстановление светочувствительного вещества в палочках происходит значительно медленнее, чем в колбочках.

Всего в сетчатке глаза около 126 млн. светочувствительных клеток, из которых примерно 120 млн. палочек и 7 млн. колбочек, от них отходят нервные волокна, которые собираются в зрительный нерв и идут от глаза к коре головного мозга. Причем палочки присоединены к нервным волокнам целыми группами по 15-400 палочек, а вот колбочки присоединяются к нервным волокнам таким образом, что к одному нервному волокну может быть присоединена одна или несколько колбочек, таким образом, каждая колбочка имеет индивидуальное представительство в мозгу.

Место вхождения зрительного нерва в глаз называется *слепым пятном*. В слепом пятне нет светочувствительных клеток, поэтому этим местом сетчатки мы не видим. То, что слепое пятно существует, доказывает следующий опыт. Закройте рукой левый глаз и смотрите на крест (рис. 2.3) правым глазом, медленно

приближайте рисунок к глазу. На расстоянии примерно 15-20 см изображение черного кружка исчезнет.



Рис. 2.3. Рисунок, позволяющий обнаружить существование слепого пятна

Этот опыт, впервые произведенный в 1668 г. (в несколько ином виде) знаменитым физиком Мариоттом, очень забавлял придворных Людовика XIV. Мариотт проделывал опыт так: помещал двух вельмож на расстоянии 2 м друг против друга и просил их рассматривать одним глазом некоторую точку сбоку, — тогда каждому казалось, что у его визави нет головы.

Не думайте, что слепое пятно нашего поля зрения незначительно; когда вы смотрите (одним глазом) на дом с расстояния 10 м, то, из-за слепого пятна, не видите довольно обширной части его фасада, имеющей в поперечнике более метра, в нем умещается целое окно! [4] Разумеется, этот большой невидимый промежуток в поле нашего зрения (угловым диаметром около 6°) обычно просматривается вторым глазом, слепое пятно которого даже частично не накладывается на слепое пространство правого глаза.

В центре сетчатки находится центральная ямка, она имеет угловой размер всего $1,5^\circ$. Когда мы рассматриваем какой-то предмет находящийся вблизи или вдали, сфокусированное изображение попадает на центральную ямку. Это место наибольшей остроты зрения и восприимчивости к цвету. В центральной ямке из светочувствительных клеток имеются только колбочки, причем концентрация их максимальна, число колбочек здесь достигает 30-40 тыс. К центральной ямке прилегает область, называемая *желтым пятном*, которая дает относительно резкое различение деталей. Угловой размер желтого пятна $6-8^\circ$, в нем концентрация колбочек значительно меньше, чем в центральной ямке, и кроме колбочек в нем имеются палочки, число которых растет с удалением от центра желтого пятна. Дальше к периферии глаза концентрация палочек еще увеличивается, а колбочек — резко уменьшается.

Зрительный нерв

Нервы — это пучки волокон, служащих для передачи раздражений. Окончания зрительного нерва расположены в сетчатке глаза. Нервные волокна в виде пучков ведут к нервным клеткам мозга.

Световые раздражения, падающие на рецептор сетчатки превращаются в нервные импульсы, которые благодаря слабым биоэлектрическим токам проходят по проводящим путям от рецептора света до коры головного мозга, где воспринимаются в виде зрительных ощущений. Скорость прохождения нервных импульсов достигает 70 м/сек. Зрительные нервы не чувствительны к боли и при их разрыве возникает только вспышка света [5].

Зрительный центр головного мозга

Мозг представляет собой гигантский центр, собирающий и перерабатывающий большой объем информации. Ядро зрительного анализатора находится на внутренней поверхности затылочной доли. При его поражении наступает световая слепота. Выше поля зрительного анализатора расположено поле, которое отвечает за зрительную память. Другие отделы мозга не могут выполнять этих функций. О сложных процессах в зрительном центре нам известно очень немного. Ясно лишь одно, что некоторые процессы, которые рассматривались до сих пор как функции сетчатки, согласно новым научным данным, совершаются или дополняются в головном мозге. Это относится ко всей области цветового зрения. Хотя сетчатка и чувствительна к световым раздражениям, но то, какой воспринимается цвет, зависит от определенных функций головного мозга.

Обратное изображение виденного нами предмета, полученное на сетчатке, в головном мозге превращается в нормальное изображение.

Зрительный центр головного мозга связан с центрами других анализаторов внешнего мира, так что то или иное восприятие цвета может вызвать ощущение и в каком-нибудь другом рецепторе. Это явление называется синестезией, его мы будем рассматривать позже.

2.2. Цветовосприятие

Отраженный от поверхности объекта свет попадает в глаз через роговицу, проходит последовательно сквозь жидкость передней камеры, хрусталик и стекловидное тело, пройдя через толщу сетчатки попадает на отростки светочувствительных клеток. Световое раздражение нервных окончаний, как было сказано выше, вызывает химическое изменение зрительного пигмента в этих клетках. Возникают нервные импульсы, которые проходят по зрительному нерву от рецептора света до коры головного мозга, где воспринимаются в виде зрительных ощущений.

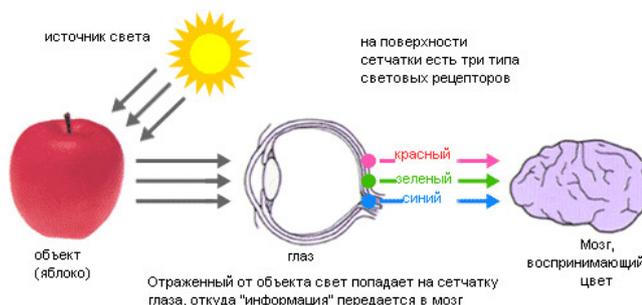


Рис. 2.4. Схема цветовосприятия

Ещё в 1756 М. Ломоносов высказал *теорию трёхкомпонентного зрения*, согласно которой в глазу существуют три цветоощущающих аппарата: красный, зеленый и синий. Каждый из них возбуждается в большей или меньшей степени, в зависимости от длины волны излучения (света). Затем возбуждения суммируются аналогично тому, как это происходит при слагательном смешении цветов. Сумма возбуждений ощущается нами как тот или иной цвет. Авторы этой теории — М. В. Ломоносов, Т. Юнг и Г. Гельмгольд.

Трёхкомпонентная теория хорошо объясняет важнейшие закономерности цветового зрения — адаптацию, индукцию, цветовую слепоту, спектральную чувствительность глаза, зависимость цвета от яркости и др. Однако, следует заметить, что в наше время известны факты, свидетельствующие о более сложной картине функционирования органа зрения.

Светочувствительные рецепторы – палочки и колбочки.

Палочки активны только при крайне низкой освещенности (ночное зрение) и не имеют практического значения при восприятии цветных изображений; они более сконцентрированы по периферии обзорного поля.

Колбочки ответственны за восприятие цвета, и они сконцентрированы в ямке. Существует три типа колбочек.

Каждый тип колбочек обладает собственной спектральной чувствительностью.

Приблизительно считается, что первый тип воспринимает световые волны с длиной от 400 до 500 нм (условно "синюю" составляющую цвета, второй - от 500 до 600 нм (условно "зеленую" составляющую) и третий - от 600 до 700 нм (условно "красную" составляющую). Цвет ощущается в зависимости от того, волны какой длины и интенсивности присутствуют в свете.

2.3. Цветовая слепота

Цветовая слепота (дальтонизм) – неспособность различать один или несколько цветов. В основном, это врожденный дефект зрения, передается по женской линии, дальтонизмом страдают 8% всех мужчин и только 0,4% женщин, хотя 16% всех женщин являются скрытыми носительницами такого дефекта зрения. Не зря говорят, что женщины обладают врожденным «чувством цвета».

Цветовую слепоту называют дальтонизмом в честь английского химика и физика Джона Дальтона, который описал её в 1794г. на основании собственных ощущений. Он не знал о своей цветовой слепоте до 26 лет, и обнаружил случайно при своем увлечении ботаникой. Оказалось, что то, что он не отличал голубого цветка от розового – не просто путаница в терминологии, как думал Дальтон, а особенность его зрения. Дальтон установил, что среди его учеников некоторые вообще не могут различать цвета, а некоторые часто их путают. Они видели зеленый цвет красным, или наоборот, но были и такие, которые путали синий и желтый цвета. Позже были обнаружены и другие аномалии цветового зрения, и тогда им дали дифференцирующие названия.

Виды дальтонизма:

1. Полная цветовая слепота (редко встречается, 0,01% людей). Мир у таких людей (монохроматов) – черно-белый. В сетчатке монохроматов при гистологическом исследовании обычно не находят никаких аномалий. Считается, что в их колбочках вместо зрительного пигмента содержится родопсин.

2. Частичная цветовая слепота.

- Нарушение красных рецепторов (протанопия)

- Невосприимчивость синего и желтого участка спектра (тританопия)

- Слепота на зеленый цвет (дейтанопия)

В Швеции в 1875г. произошло крупное крушение поезда, погибло много людей. Оказалось, что машинист не различал красный цвет. И т.к. в транспортной сфере очень развита цветовая сигнализация, с тех пор при приеме на работу в транспортную службу стали в обязательном порядке оценивать цветоощущения. В некоторых странах (Турции, Румынии) людям с нарушениями цветоощущения не выдают права. В России – только категории А и В.

При проверке цветного зрения, прежде всего, важно обнаружить протанопию (при этой цветовой слепоте красные и зеленые цвета смешиваются). Такие люди видят красные и зеленые цвета желтовато-серыми.

В одном из простых тестов используются “псевдоизохроматические” таблицы. На этих таблицах нанесены пятна разных размеров и цветов, расположенные так, что они образуют буквы, знаки или цифры. Пятна разного цвета имеют одинаковый уровень светлоты. Лица с нарушенным цветовым зрением не способны увидеть некоторые символы (это зависит от цвета пятен, из которых они образованы). Используя различные варианты таблиц, можно достаточно надежно выявить нарушения цветового зрения.

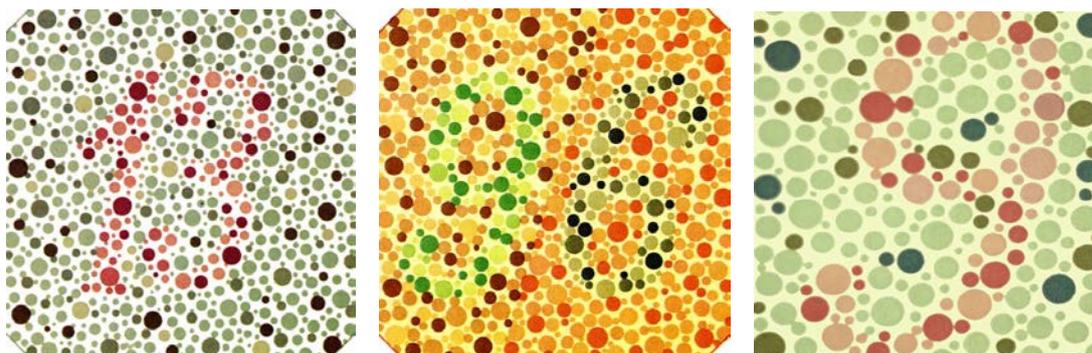


Рис. 2.5. Примеры таблиц Рабкина

Поскольку существует целый ряд профессий, при которых необходимо нормальное цветовое зрение (например, шоферы, летчики, машинисты, художники-модельеры), у всех детей следует проверять цветовое зрение, чтобы впоследствии учесть наличие аномалий при выборе профессии.

2.4. Особенности зрения

2.4.1. Зрительное восприятие пространства.

Благодаря бинокулярному зрению (двумя глазами) достигается объемное видение. При таком видении можно гораздо точнее определить расстояние, на котором находятся предметы, чем при монокулярном видении (одним глазом).

Когда мы смотрим на предмет, правый глаз видит с иной позиции, чем левый. Благодаря слиянию этих двух изображений, создается впечатление объемности. Это впечатление утрачивается по мере удаления предмета и полностью пропадает, если рассматривать объект на расстоянии более 60 метров. В этом случае мы определяем расстояние на основе опыта или же опираясь на перспективные сокращения, зрительное изменение величины предметов, воздушную перспективу.

2.4.3. Продолжительность раздражения и ощущения.

При раздражении участка сетчатки под действием света, зрительное ощущение сохраняется в течение очень короткого времени даже после прекращения действия раздражителя.

Такая инерция зрительных нервов дает возможность просматривать отдельные статичные изображения киноленты как подвижные образы. Спицы

вращающегося колеса кажутся нам серой вуалью, вращение горящей спички выглядит как светящаяся полоса.



Рис. 2.6. Инерция зрительных нервов не позволяет различить детали движущихся объектов

2.4.4. Дневное и сумеречное зрение.

Дневной свет, проникая через человеческий глаз, действует на колбочки сетчатки. И т.к. колбочки преимущественно расположены в центре сетчатки, наиболее четко цвет и форму предметов мы видим в центральной части поля зрения. По мере приближения к периферии поля зрения ощущение светлоты, отчетливость образа и способность различать цвета, уменьшается.

Красный, зеленый и фиолетовый цвета на периферии поля зрения теряют свою силу и кажутся серыми. Желтый – воспринимается и по краям обзора, именно поэтому желтый цвет используют в качестве предупреждающего цвета на транспорте и производстве. Синий цвет также ещё воспринимается на периферии, но т.к. это пассивный цвет, он не способен обращать на себя внимание.

Чувствительность зрения неодинакова к лучам различной длины волны. На рисунке 25 приведены кривые спектральной чувствительности глаза при дневном свете и в сумерках в относительных единицах. Днем глаз максимально чувствителен к желто-зеленой части спектра (550 нм) (эти лучи воспринимаются как наиболее яркие) ночью – к зелено-голубой (500 нм). Кривые спектральной чувствительности часто для краткости называют *кривыми видности* (рис. 2.7).

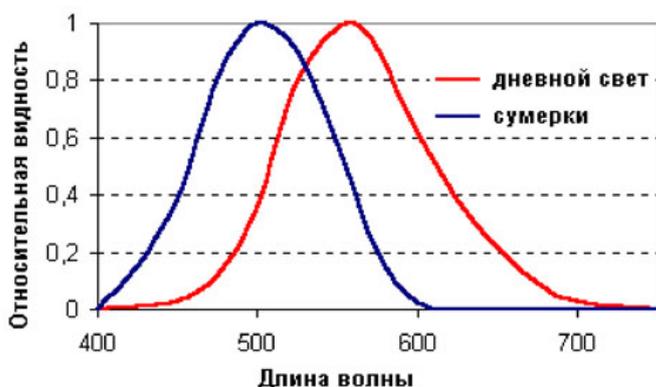


Рис. 2.7. Кривые спектральной чувствительности глаза

яркость. В сумерках же красный мак будет казаться нам темным, а василёк значительно более ярким.

Изменение спектральной чувствительности глаза в зависимости от времени суток получило название «сдвига Пуркинье». Его легко заметить, если рассматривать красный мак и голубой василек днём и вечером. При ярком освещении эти цветы воспринимаются глазом как имеющие одинаковую

В сумерки сначала красный цвет теряет свой цветовой тон и приближается к черному, затем сереет желтый цвет, и в последнюю очередь – теряют свою хроматичность зеленый и синий цвета. Но они кажутся более светлыми. Так, красное платье в сумерках выглядит черным, а синий автомобиль – светло-серым.

На первый взгляд может показаться, что смещение кривой видности 2 по сравнению с 1 мало, всего около 0,05 мкм, и что не стоит обращать на него внимание. Однако это не так. Поскольку световой диапазон чрезвычайно узок — вся его „длина“ около 0,36 мкм, смещение кривой видности 2 составляет около 14% от общей протяженности светового диапазона.

С проявлениями эффекта Пуркинье мы сталкиваемся в повседневной жизни, в быту, с ним приходится считаться в ряде отраслей промышленности (например, при изготовлении и применении красителей). Если мы посмотрим днем на разноцветный ковер, в котором имеются красные, оранжевые тона, а также зеленые, голубые или синие, а затем посмотрите на него в сумерки или ночью. При слабом освещении все красные и оранжевые цвета как бы „тонут“, т. е. темнеют, а зеленые, голубые — „выпирают“, становятся более светлыми. Создается впечатление, что днем это был совсем другой ковер.

Об этом явлении знали еще вышивальщицы в Древней Греции: работая при светильниках, они часто ошибались в расцветках, принимая одни за другие.

С влиянием эффекта Пуркинье приходится считаться астрономам при фотометрировании (т. е. сравнении яркости) звезд разного цвета.

Попробуем разобраться, почему спектральная чувствительность глаза изменяется при переходе ото дня к ночи и наоборот. Установлено, что причиной этих изменений является смена дневных источников освещения земной поверхности на ночные. Форма дневной кривой видности с максимумом, приходящимся на желто-зеленый свет (0,556 мкм), повторяет форму средней кривой распределения энергии в солнечном свете, отраженном зеленой растительностью. В безлунные ночи освещенность земной поверхности создается ночным свечением атмосферы, светом звезд и рассеянным солнечным светом. Максимум суммарной кривой распределения энергии всех ночных источников вместе взятых приходится на интервал длин волн 0,507—0,510 мкм, на который и смещается максимум ночной кривой видности.

При слабом свете вступают в действие палочки сетчатой оболочки. Т.к. они расположены преимущественно по периферии сетчатой оболочки, фокусировка взгляда не приводит к ясному видению. Если сконцентрировать взгляд на небольшом участке, то детали различаются менее отчетливо, чем при беглом взгляде в сторону.

Подвижные предметы воспринимаются более отчетливо, чем неподвижные.

«Чтобы видеть в темноте, надо не смотреть»

При полном отсутствии света, как и при закрытых глазах, мы видим не черный цвет, а серый цвет глаза. Т.е. черный цвет, как и другие цвета, полностью выявляет свой цветовой характер только при полном свете.

2.4.5. Адаптация

Адаптация глаза – это изменение чувствительности глаза в зависимости от условий освещения.

Различают адаптацию темновую, светловую и цветовую.

Темновая адаптация. Это повышение чувствительности сетчатки к свету. Спустя несколько минут, после того, как вы попали в темное помещение, предметы постепенно становятся различимы. При этом, зрачок расширяется, увеличивая количество света, попадающего на сетчатку.

Темновая адаптация возникает вследствие того, что в темноте возрастает концентрация зрительного пурпура, который обесцвечивается при свете. Это влечет за собой повышение чувствительности глаза к световым раздражениям, включается палочковое зрение. Чувствительность глаза может быть увеличена благодаря темновой адаптации более чем в 200 000 раз (после одного часа пребывания в темноте). Увеличение чувствительности глаза продолжается в течение 24 часов пребывания в темноте, однако темновую адаптацию можно считать установившейся уже после 60-80 минут пребывания в ней.

Кривая (рис. 2.8) показывает, что увеличение времени пребывания в темноте (абсцисса) приводит к снижению порога (или к возрастанию чувствительности) (ордината).



Рис. 2.8. Зависимость величины зрительного порога от времени темновой адаптации. Верхняя часть кривой - колбочковое зрение, нижняя часть - палочковое зрение.

Световая адаптация. Это уменьшение чувствительности сетчатки к свету. Световая адаптация протекает значительно быстрее темновой, но сопровождается неприятными ощущениями. Выходя из темного помещения на яркий дневной свет, человек бывает ослеплен и в первые секунды почти ничего не видит. Чувствительность глаза к свету автоматически и достаточно быстро падает. Прежде всего сужается зрачок. Кроме того, под непосредственным действием света выцветает зрительный пурпур палочек, в результате их чувствительность резко падает. Начинают действовать колбочки, которые, по-видимому, оказывают тормозящее действие на палочковый аппарат и выключают его. В результате уже через несколько секунд человек начинает видеть в общих чертах окружающую картину, а минут через пять световая чувствительность его зрения приходит в полное соответствие с окружающей яркостью, что обеспечивает нормальную работу глаза в новых условиях.

При темновой или световой адаптации глаз никогда не достигает полной способности зрительного восприятия. Поэтому на рабочем месте следует избегать резких световых контрастов и тем самым по возможности исключать необходимость переадаптации глаза, поскольку она снижает остроту зрения.

Цветовая адаптация (хроматическая). Уменьшение чувствительности к определенному цвету. При длительном действии какого-либо цвета на глаз

чувствительность сетчатки к этому цвету снижается, и он как бы тускнеет. Цветовая адаптация — явление более слабое, чем световая адаптация, и протекает в более короткий промежуток времени. Наибольшее время адаптации наблюдается для красного и фиолетового цветов, наименьшее — для желтого и зеленого.

Под действием цветовой адаптации происходят следующие изменения:

- а) насыщенность всех цветов снижается (к ним как бы подмешивается серый);
- б) светлые цвета темнеют, а темные светлеют;
- в) теплые цвета становятся более холодными, а холодные - более теплыми.

Если человеку длительное время приходится например, работать с красными тканями, то через некоторое время он теряет способность различать тонкие нюансы оттенков этого цвета. Опытным продавцам и швеям этот факт известен и они кладут рядом с красными тканями зеленые или синие, для того что бы восстанавливать правильное ощущение цветности.

Объяснение этому явлению нетрудно найти исходя из трехкомпонентной теории. При длительной фиксации цвета какой-либо из цветочувствительных аппаратов испытывает нарастающее утомление, нарушается первоначальное соотношение возбуждений, и это приводит к изменению характеристик цвета.

Если цвет фиксируется наблюдателем слишком долго, хроматическая адаптация перерастает в качественно иное явление — *цветовое утомление*. В результате цветового утомления первоначальное цветовое ощущение может измениться до неузнаваемости. Так, наблюдатель может спутать противоположные цвета, например красный и зеленый.

В искусственных лабораторных условиях при уравнивании эффективной яркости (светлоты) спектральных цветов обнаружено, что *наименьшим утомляющим действием обладает желтый цвет*, затем к краям спектра кривая утомляющего действия резко повышается (опыты Е. Рабкина). Однако в обычной ситуации, при естественных условиях наблюдения цвета, оказалось, что утомляющее действие цвета зависит не от цветового тона, а только от насыщенности при прочих равных условиях (опыты Е. Каменской). Более общо говоря, *утомляющее действие цвета пропорционально его количеству, а количество цвета можно рассматривать как функцию цветового тона, яркости, насыщенности, угловых размеров пятна, цветового контраста и времени наблюдения*. При прочих равных условиях наибольшим количеством цвета обладают красный и оранжевый, а наименьшим — синий и фиолетовый.

Периферия сетчатки глаза утомляется гораздо скорее, чем центральные части. В этом нетрудно убедиться на простом опыте. На черном квадрате размером 30X30 мм изображаются белый квадратик 3X3 мм и ниже — белая полоска 24X1 мм. При фиксации взгляда на квадратике очень скоро полоска тускнеет и исчезает. Опыт удается лучше, если смотреть одним глазом.

2.4.6. Константность цвета

Константность цвета или цветопостоянство – это способность зрения корректировать восприятие цвета объектов при изменяющихся условиях освещения.

Хотя, будучи освещенной различным по яркости и цвету светом, цветная поверхность предмета отражает различный цветовой поток, воспринимаемый цвет поверхности, так же как и объективная окраска самого предмета, при этом не изменяется. Мы как бы "снимаем" освещение, воспринимаем цвет в его нормальном освещении. Это "снятие" освещения и как бы перевод его в условия нормального

освещения обозначается обычно как *трансформация цвета*. Не существуй у нас подобной трансформации, белый цветок, находящийся под зеленой листвой, должен был бы казаться того же цвета, что сама листва под открытым небом; клубок белых ниток при свете лампы должен был бы иметь для нас цвет апельсина. Однако в естественных условиях этого нет: лист белой бумаги остается белым при желтоватом освещении электрической лампы и под зеленой листвой, хотя физически состав отражаемого им света в обоих случаях различен. Писчая бумага воспринимается нами как белая и в сумерки, а шрифт печатного текста как черный и при ярком солнечном освещении, хотя свет, отражаемый белой бумагой, слабее света, отражаемого шрифтом при солнечном освещении.

Еще Э.Геринг отмечал, что кусок угля в полдень отражает в несколько раз больше света, чем кусок мела на рассвете; между тем и в полдень уголь воспринимается нами как черный, а мел на рассвете как белый. Это постоянство цвета в некоторых отношениях особенно примечательно: при постоянстве величины и формы изменяется лишь изображение на сетчатке: в данном случае изменяется и объективный раздражитель – физический состав световых лучей, отражаемых поверхностью воспринимаемого цвета, в соответствии с цветом самого предмета, хотя этот последний является лишь одним из условий, определяющих действующий на глаз раздражитель.

Явление константности и трансформации цвета – по-видимому, сложный процесс, обусловленный как центральными, так и периферическими факторами.

Трехкомпонентная теория цветового зрения не может объяснить цветопостоянство работой рецепторов нашего глаза, поэтому считается, что этот механизм – специфика работы мозга и работает с цветом «известных нам предметов»

2.4.7. Иррадиация

Иррадиация – (по-латыни – неправильное излучение) кажущееся изменение площади цветового пятна, окруженного фоном, отличающимся от пятна по светлоте.

Светлые цвета, например белый или желтый создают эффект иррадиации, они как бы распространяются на расположенные рядом с ними более темные цвета и уменьшают окрашенные в эти цвета поверхности. Белый квадрат на черном фоне выглядит больше, чем черный квадрат на белом фоне согласно исследованиям Гете на 1/5 площади. Если через щель дощатой стены проникает луч света, то щель кажется шире, чем в действительности. Когда солнце светит сквозь ветви деревьев, ветви эти кажутся более тонкими, чем обычно (рис 2.9).

Светлые светящиеся поверхности как бы увеличиваются в ширину.



Рис. 2.9. Явление иррадиации

Еще несколько примеров:

Явление иррадиации при астрономических наблюдениях мешает наблюдать тонкие черные линии на объектах наблюдения; в подобных случаях приходится диафрагмировать объектив телескопа. Физики из-за явления иррадиации не видят тонких периферических колец дифракционной картины. В темном платье люди кажутся тоньше, чем в светлом. Источники света, видные из-за края, производят в нем кажущийся вырез. Линейка, из-за которой появляется пламя свечи, представляется с зарубкой в этом месте. Восходящее и заходящее солнце делает словно выемку в горизонте. Черная нить, если ее держать перед ярким пламенем, кажется в этом месте прерванной; раскаленная нить лампы накаливания кажется толще, чем она есть в действительности; светлая проволока на темном фоне кажется более толстой, чем на светлом. Переплеты в оконных рамах кажутся меньше, чем они есть в действительности.

Статуя, отлитая из бронзы, выглядит меньше, чем изготовленная из гипса или белого мрамора. Архитекторы Древней Греции угловые колонны своих построек делали толще прочих, учитывая, что эти колонны со многих точек зрения будут видны на фоне яркого неба и, вследствие явления иррадиации, будут казаться тоньше.

Своеобразной иллюзии подвергаемся мы по отношению к видимой величине Солнца. Художники, как правило, рисуют Солнце чересчур большим по сравнению с другими изображаемыми предметами. С другой стороны, на фотографических ландшафтных снимках, на которых изображено и Солнце, оно представляется нам неестественно малым, хотя объектив дает реальное изображение.

Явление иррадиации известно с очень давних времен. Еще Витрувий (I в. до н. э.), архитектор и инженер Древнего Рима, в своих трудах указывал, что при сочетании темного и светлого «свет пожирает мрак». На нашей сетчатке свет отчасти захватывает место, занятое тенью. Первоначальное объяснение явления иррадиации было дано Р. Декартом, который утверждал, что увеличение размеров светлых предметов происходит вследствие распространения физиологического возбуждения на места, соседние с прямо раздраженным местом сетчатки. Однако это объяснение в настоящее время заменяется новым, более строгим, сформулированным Гельмгольцем, согласно которому первопричиной иррадиации являются следующие обстоятельства. Каждая светящаяся точка изображается на сетчатой оболочке глаза в виде маленького кружка рассеяния из-за несовершенства хрусталика (абберация, от латинского – отклонение), неточной аккомодации и пр.

Это явление играют существенную роль при конструировании шрифтов. В то время, как, например, буквы E и F сохраняют свою полную высоту, высота таких букв как O и G, несколько уменьшается, еще больше уменьшаются из-за острых окончаний буквы A и V. Эти буквы кажутся ниже общей высоты строки. Чтобы они казались одинаковой высоты с остальными буквами строки, их уже при разметке выносят несколько вверх или вниз за пределы строки (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Превышение высоты букв для нивелирования эффекта иррадиации (а – геометрическая схема, б – необходимое превышение букв при полужирном гротеске и при классическом античном шрифте).

Явление иррадиации используется художниками и дизайнерами для создания зрительных иллюзий, их называют square-иллюзиями. На рис. 2.11, а представлена иллюзия выходящей веревки. В 1894 году исследователь Мунстерберг отобразил данную иллюзию в своей популярной коллекции Pseudoptics (фигура смещенной шахматной доски). Мы видим, что формы белых прямоугольников, пересеченных черными линиями, кажутся искаженными. То есть, глядя на иллюстрацию, не скажешь, что вертикальные линии – прямые.

На рис. 2.11, б представлена иллюзия Стена кафе (Cafe Wall). Название иллюзии произошло от действительно существовавшего в девятнадцатом веке кафе в городе Бристоль (Великобритания). Представленная иллюзия отлична от предыдущей. В иллюзии "стена кафе" "строки" элементов разделены тонкой линией, которая позволяет получить более глубокий эффект путем разделения освещенностей между темными и светлыми элементами. Все прямоугольники одинаковы по размерам, но нам так не кажется.

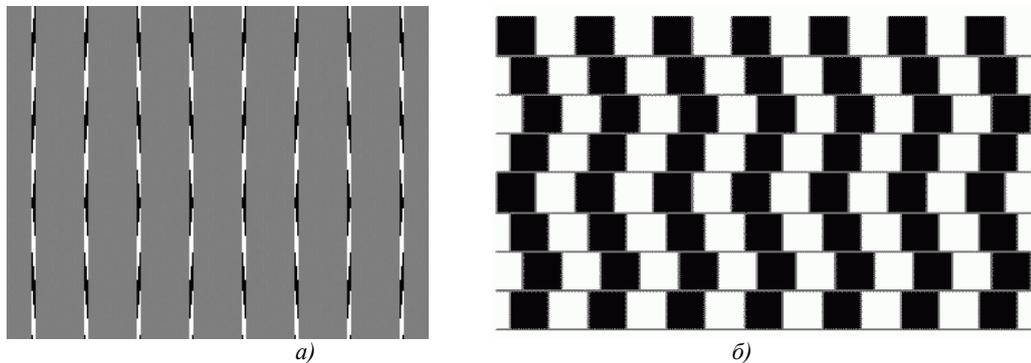


Рис. 2.11. Зрительные иллюзии созданные на основе эффекта иррадиации

2.4.8. Одновременный контраст

Цвет предметов мы воспринимаем в зависимости от окружающего фона. Белая скатерть покажется голубой, если на неё положить оранжевые апельсины, и розовой, если на ней окажутся зеленые яблоки. Это происходит потому, что цвет фона приобретает оттенок дополнительного цвета по отношению к цвету предмета.

Это изменение цветового впечатления, вызванное другими, расположенными по соседству цветами называется *одновременным контрастом*.

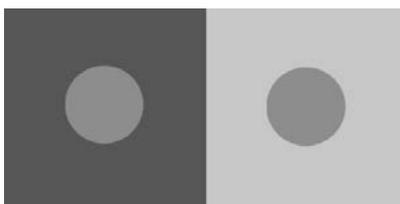


Рис. 2.12. Серый круг на темном фоне кажется светлее, чем на светлом.

Сила воздействия любого цвета увеличивается под влиянием противоположного цвета (при этом не важно, идет речь о светлотном или хроматическом контрасте). Серый цвет под влиянием черного больше приближается к белому, а под влиянием белого – к черному (рис. 2.12).

Явление изменения светлоты цвета в зависимости от светлоты окружающего его фона носит название *одновременного светлотного контраста* или *контрастом по светлоте*.

Если всмотреться в ахроматический ряд (рис. 2.13), то каждое отдельное серое поле на границе с более светлым становится как бы темнее. Такой контраст еще называют пограничным контрастом, он создает эффект волнообразной вогнутости и выпуклости. Причины этого явления недостаточно изучены. Гельмгольц объясняет это оптическим обманом. Геринг, напротив, предполагает взаимное влияние друг на друга отдельных частей сетчатки глаза (индукцию).



Рис. 2.13. Пограничный контраст ахроматического ряда

Более сложные изменения происходят с цветами при *одновременном хроматическом (цветовом) контрасте*. Хроматический контраст — это кажущееся изменение цветового тона или насыщенности цвета в зависимости от окружающих его других цветов или под влиянием цветов, предварительно наблюдавшихся. Все три серых квадрата одинаковые, на синем фоне – серый цвет приобретает оранжевый оттенок, на желтом – фиолетовый, на зеленом – розовый, т.е. он приобретает оттенок дополнительного цвета к цвету фона (рис. 2.14).

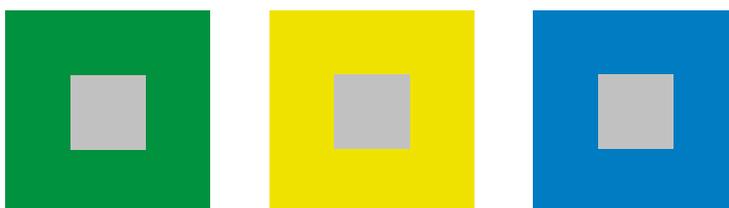


Рис. 2.14. Серый квадрат меняет свой оттенок в зависимости от цвета фона

Одновременный хроматический контраст ярче выражается при соприкосновении дополнительных или близких к ним цветов, причем он усиливается при уменьшении насыщенности этих цветов.

Одновременный хроматический контраст цветов дает зачастую нежелательные эффекты, но можно им же воспользоваться и для усиления «цветности» того или иного колористического решения. Предположим, что нужно выполнить серый узор на красном фоне. Нейтральный серый цвет в окружении красного приобретает нежелательный зеленоватый оттенок, дополнительный к цвету окружающего фона.

Избежать этого явления можно, прибавляя в серый цвет несколько капель красного, т. е. цвета фона, который нейтрализует зеленоватый оттенок, вызываемый одновременным контрастом, а серый получает необходимый нейтральный тон. Таким образом, для смягчения одновременного хроматического контраста необходимо в цвет рисунка или контура добавить небольшое количество цвета фона. Это необходимо учитывать при подборе пряжи для тканых и ковровых изделий.

Иногда появляется необходимость в выделении и подчеркивании какого-либо цвета в общей спокойной и сдержанной гамме, включении в композицию, как говорят художники, цветового «огонька». В этом случае необходимо расположить его на фоне дополнительного цвета. Тогда по закону одновременного хроматического контраста он будет казаться более ярким и насыщенным (рис. 2.15).

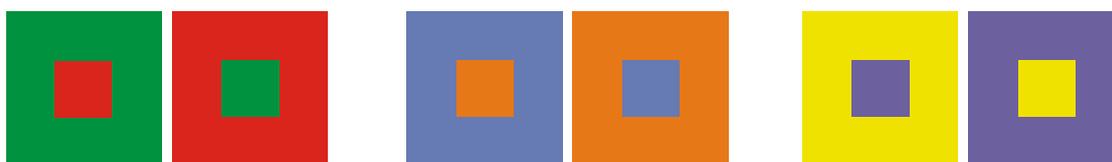


Рис. 2.15. Усиление цветности дополнительных цветов

2.4.9. Последовательный контраст

Если белый лист бумаги накрыть темно-синей драпировкой, пристально и долго смотреть на неё, а потом отдернуть, то мы обнаружим, что белый лист кажется нам желтоватым. Если возьмем зеленую драпировку, то бумага будет красноватой. Это *последовательный контраст*.

Как возникновение ощущения, так и его исчезновение не происходит внезапно и одновременно с окончанием действия раздражителя. Необходимо некоторое время на соответствующий фотохимический процесс. Поэтому после прекращения действия раздражителя в глазу остается "след", или последствие, раздражения, которое дает "последовательный образ". Когда этот след соответствует по светлоте и цветовому тону первоначальному ощущению, он называется положительным последовательным образом, когда же он изменяется в обратных отношениях, он называется отрицательным последовательным образом.

Под последовательным контрастом разумеются временные изменения в цветовом ощущении, которые возникают вследствие предварительного действия на определенные участки глаза световых раздражителей. Последовательный контраст представляет собой по существу отрицательный последовательный образ. Последовательный контраст может быть световым.

Особенности восприятия цвета:

1. Восприятие цвета меняется на стыке двух цветов. Н-р, желтый цвет на границе с красным, приобретает зеленоватый оттенок. При этом, если площадь полей мала, пограничный контраст не возникает.
2. Глаз при восприятии какого-либо цвета требует появления дополнительного по отношению к нему цвета (симультантный контраст). Н-р, черный квадрат на красном фоне – кажется зеленоватым, на зеленом

- красноватым, на фиолетовом – желтоватым. Таков закон о дополнительных цветах.
3. Один и тот же цвет воспринимается по-разному на темном и светлом фоне. На темном фоне цвет кажется менее насыщенным, на светлом – более ярким.

2.4.10. Оптико-геометрические иллюзии

Иллюзии зрения или псевдоскопии — так называются неправильные представления о форме, размере, цвете и положении в пространстве предметов внешнего мира, возникающие под влиянием зрительных впечатлений. По причинам, вызывающим их, иллюзии зрения могут делиться на иллюзии:

- 1) проистекающие от оптических особенностей зрительного аппарата человека,
- 2) причина которых кроется в психике человека, в предвзятых, невольных суждениях и сопоставлениях, основанных на привычке связывать известное впечатление с явлением его вызывающим.

Нередко обе причины содействуют в образовании оптической иллюзии. По следствиям своим, оптические иллюзии могут либо представлять нам несуществующие предметы, либо исказить вид и положение существующих.

Иллюзии зрения относятся к явлениям психофизическим и по своей субъективности и разнообразию весьма трудно поддаются научному изучению. Над их исследованием и разысканием причин трудились Плато, Дельбеф, Гельмгольц и др., но и теперь еще эта область представляет почти совершенно темное поле в психофизике.

Большинство известных *оптико-геометрических иллюзий* можно рассматривать либо как искажение в восприятии величины (длины или размера), либо как искажение в восприятии направления линии [3,6].

1. *Иллюзия выпуклости* (иллюзия Геринга) и *иллюзия вогнутости* (иллюзия Вундта) двух параллельных прямых, пересекаемых под углом пучком сходящихся (в первом случае) и расходящихся (во втором) линий. Параллельные линии (при иллюзии выпуклости) «выгибаются» наружу в месте схождения пучков линий и «прогибаются» внутрь в средней части рисунка при расходящихся линиях: точки схождения пучков в этом случае лежат не внутри, а вне параллельных линий (рис. 2.16, а, б). Иллюзии этого рода уменьшаются, если рисунок повернуть на 90° (чтобы параллельные линии имели не вертикальную, а горизонтальную направленность). Обманные эффекты «выпуклости — вогнутости» почти совсем исчезнут, если между параллельными линиями провести еще одну линию.

2. *Иллюзия Ф. Цельнера* заключается в кажущейся непараллельности ряда вертикальных параллельных линий, пересеченных под углом отрезками параллельных штрихов (линий). Наибольший эффект достигается при пересечении вертикалей этими отрезками линий под углом 45° . Вертикали воспринимаются наклоненными влево или вправо (рис. 2.17.).

3. *Иллюзия Мюллера-Ляйера* заключается в переоценке размеров острых углов: две одинаковые по длине линии кажутся неодинаковыми из-за того, что концы одной замыкаются острыми углами, а другой — тупыми углами. Последняя кажется длиннее первой (рис. 2.18, а). В другом варианте этой иллюзии вместо углов и линий показаны пространства, ограниченные дугами, повернутыми друг к другу и друг от друга.

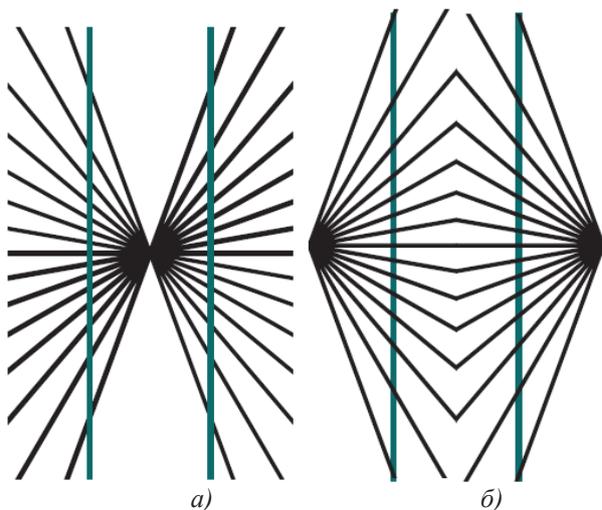


Рис. 2.16. Иллюзия выпуклости (эффект Э. Геринга) (а) и иллюзия вогнутости (эффект В. Вундта) (б) двух параллельных прямых.

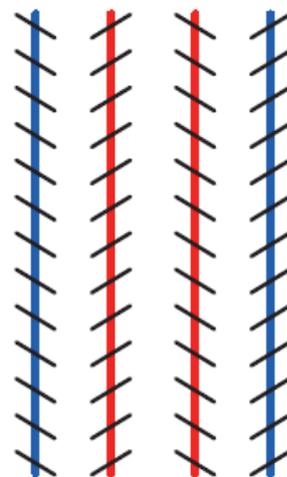


Рис. 2.17. Иллюзия Ф. Целльнера

4. Иллюзия излома наклонной линии (иллюзия Поггендорфа) заключается в кажущемся изломе наклонной линии, перекрываемой зрительно двумя вертикальными прямоугольниками или вертикальными параллельными линиями или дугообразными линиями (рис. 2.18, а) [4].

5. Иллюзия большей длины вписанных в поле квадрата вертикальных линий (переоценка вертикали), чем горизонтальных, вписанных в такое же поле (при условии отсутствия контура поля со всех сторон). Это поле открыто либо сверху и снизу, либо по бокам (рис. 2.18, в) [4].

6. На рис. 2.18, г показан другой пример переоценки вертикали: более короткая вертикаль, опущенная как перпендикуляр в центр горизонтальной линии, кажется с ней одинаковой длины, а равновеликая ей кажется длиннее.

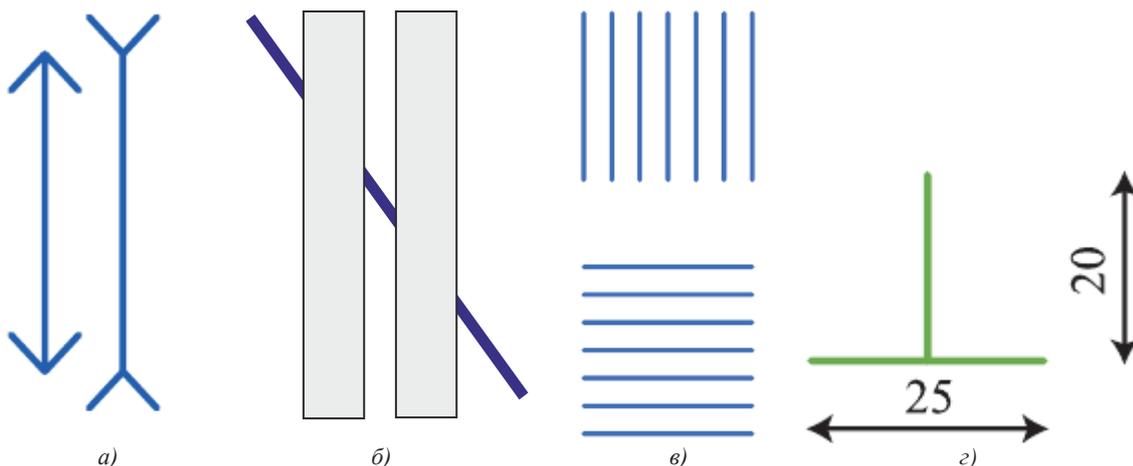


Рис. 2.18. Некоторые оптико-геометрические иллюзии: иллюзия Мюллера-Ляйера (а), иллюзия излома наклонной линии (б), иллюзия переоценки длины (в, г)

7. Иллюзия зрительного искажения фигуры (квадрата или круга) фоном, представляющим собой ряды параллельных или изломанных под тупым углом

линий, пересекающих те или иные части фигуры. В квадрате на таком фоне нарушается параллельность сторон, а круг приобретает неправильную форму (рис. 2.19). В работе [4, рис. 91–94] показаны разные варианты таких искажений, названных здесь «маскировкой целой фигуры».

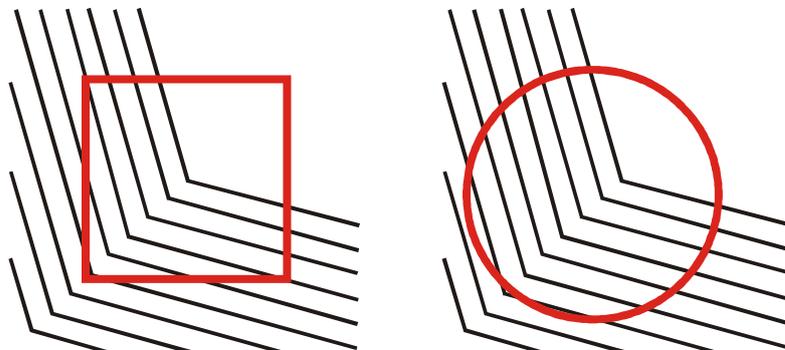


Рис. 2.19. Иллюзии зрительного искажения фигуры

Оптико-геометрические иллюзии могут применяться и должны учитываться в дизайне костюма, в разработках объектов графического дизайна, в архитектуре, в прикладном искусстве, в искусстве текстиля, в графической рекламе, в дизайне интерьеров и т. п.