

3. ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ

3.1. Свет и зрение

Зрение среди всех органов чувств занимает особое место и роль его в жизни человека трудно переоценить. Зрение служит важнейшим орудием познания внешнего мира.

Если принять за 100 % всю информацию, получаемую человеком извне, то на долю зрения придется примерно 80 %. Некоторые исследователи даже называют цифру 95 %. Недаром говорится, что лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать. Это действительно так: человек с помощью зрения распознает объекты окружающей действительности, воспринимает их размеры, форму, расположение в пространстве, движение. Зрение обеспечивает человеку возможность трудовой и творческой деятельности. Немецкий естествоиспытатель и физик Г. Гельмгольц писал: «Из всех органов чувств человека глаз всегда признавался наилучшим даром и чудесным произведением творческой силы природы. Поэты воспевали его, ораторы восхваляли, философы прославляли его как мерило, указывающее на то, к чему способны органические силы, а физики пытались подражать ему как недостижимому образцу оптических приборов».

С древнейших времен человечество пыталось понять природу и свойства света и решить вопрос о том, каким образом формируется изображение внешнего мира на сетчатке глаза. Зрительный акт всегда был загадочным и таинственным для человека. В ряде стран существовали даже религиозные секты, члены которых поклонялись Богу в образе глаза.

Древнегреческий математик *Евклид* (III в. до н. э.) в дошедшем до наших дней трактате «Оптика» исследовал свойства света. Изучая законы распространения и отражения света, он доказал, что свет распространяется по прямой линии. Пытаясь объяснить способность человека видеть предметы, Евклид вначале высказывал мысль о том, что глаз испускает «зрительные лучи», которые ощупывают рассматриваемый предмет и возвращаются обратно. Однако впоследствии он в этом засомневался, поскольку такая гипотеза не объясняла, как человек, открыв в ночное время глаза, устремленные в небо, может моментально увидеть звезды. Так может происходить либо в случае, если скорость луча света, исходящего из человеческого глаза, бесконечно велика, либо в случае, если звезды сами излучают свет, а человеческий глаз их улавливает. Последнее показалось ему более правдоподобным.

Древнеримский поэт и философ *Лукреций* (I в. до н. э.) в поэме «О природе вещей», где он излагает учение греческого философа *Эпикура* (главным образом его взгляды на физику), полагал, что свет и тепло солнца состоят из мельчайших движущихся частиц. Каждый предмет создает

из этих частиц тончайший слепок («призрак»), который затем и попадает в человеческий глаз. Однако взгляды Лукреция на природу света признания не получили.

Существовало и множество других таких же наивных толкований природы света и человеческого зрения.

Лишь в XVII в. появились две гипотезы, близкие к сегодняшним представлениям о природе света: волновая и корпускулярная, и начались научные споры между сторонниками этих теорий.

Основателем волновой теории считается французский математик, физик, физиолог и философ Рене Декарт, который рассматривал свет как возмущения в мировой субстанции – пленуме. Разрабатывали волновую теорию света его последователи – английский ученый и естествоиспытатель Роберт Гук и голландский физик, математик, механик и астроном Христиан Гюйгенс. По мнению Гюйгенса, световые волны распространяются в особой среде, которая заполняет все космическое пространство – эфире.

Корпускулярную теорию сформулировал французский математик, астроном и философ Пьер Гассенди. Впоследствии его идеи поддержал и развил английский физик, математик и астроном Исаак Ньютон.

В начале XIX в. чаша весов склонилась в пользу волновой теории. Английский физик, астроном и врач Томас Юнг, исследуя дифракцию, доказал, что свет представляет собой поперечные волны и характеризуется поляризацией. Он также высказал предположение о том, что цвет зависит от длины волны светового излучения. Огромный вклад в развитие волновой теории света внес французский физик Огюст Жан Френель. Он значительно углубил представления об интерференции, дополнил принцип Гюйгенса, введя представление о когерентной интерференции элементарных волн, излучаемых вторичными источниками, разработал теорию дифракции света, на основе которой предложил метод расчета дифракционной картины, основанной на разбиении фронта волны на зоны (которые впоследствии были названы его именем – зоны Френеля), независимо от Т. Юнга доказал поперечность световых волн, установил законы изменения поляризации света при его отражении и преломлении (формулы Френеля), изобрел несколько новых интерференционных приборов (зеркала Френеля, бипризма Френеля, линза Френеля) и т. д. После создания теории электромагнетизма свет был идентифицирован как электромагнитные волны.

Однако в конце XIX в. позиции волновой теории пошатнулись. Опыты, проделанные американскими физиками Альбертом Майкельсоном и Эдвардом Морли, доказали, что никакого эфира, в котором могли бы распространяться световые волны, не существует. Это послужило толчком к дальнейшим исследованиям природы электромагнетизма, которая оказалась сложнее, чем просто распространение возмущений в веществе. Исследования теплового равновесия абсолютно черного тела, выполненные немецким физиком-теоретиком Максом Планком, привели к появлению идеи об излучении

света порциями – световыми квантами, которые получили название **фотонов**. В дальнейшем анализ явления фотоэффекта, выполненный Альбертом Эйнштейном показал, что и поглощение световой энергии также происходит квантами.

Только после этого стало понятно, что человеческий глаз реагирует на световые раздражения, представляющие собой электромагнитные колебания в видимом диапазоне спектра, и посылает в мозг информацию, которая через сетчатку и зрительный нерв трансформируется в зрительный образ в головном мозге.

3.2. Глаз человека как приемник излучения

Глаз человека – это орган, который в процессе эволюции прошел путь от светочувствительных клеток на поверхности тела животного до сложно устроенного инструмента, способного фокусировать пучок света, который отражается от интересующего нас объекта на специальные светочувствительные клетки у задней стенки глазного яблока. Светочувствительные клетки способны воспринимать как черно-белое, так и цветное изображение.

Орган зрения человека является парным и состоит из двух глазных яблок, двух глазных нервов и части мозга, принимающей и обрабатывающей передаваемую нервами информацию. Зрительный нерв, идущий от каждого глаза, содержит более миллиона нервных волокон. По пути к мозгу оба нерва перекрещиваются, место их перекрещивания называется **хиазмой**. В хиазме происходит сложное перераспределение волокон, в результате чего предметы, расположенные справа от человека (в правой части поля зрения), воспринимаются левой половиной мозга, и наоборот, находящиеся слева – правой половиной. Волокна, представляющие центральную часть поля зрения, распределяются еще более сложным и не вполне изученным образом [1].

Глазное яблоко представляет собой почти сферическое тело с выпуклостью впереди (рис. 3.1). Снаружи оно заключено в плотную белую оболочку толщиной около 1 мм, называемую **склерой**. Она непрозрачна за исключением ее передней части – **роговицы**. Под склерой находится сосудистая оболочка (толщиной около 0,3 мм), состоящая в основном из кровеносных сосудов, питающих глазное яблоко.

Внутренняя оболочка – **сетчатка** или **ретины** – имеет, в свою очередь, достаточно сложную структуру и состоит из десяти слоев. В сетчатке находятся светочувствительные клетки – **фоторецепторы**: палочки и колбочки [2].

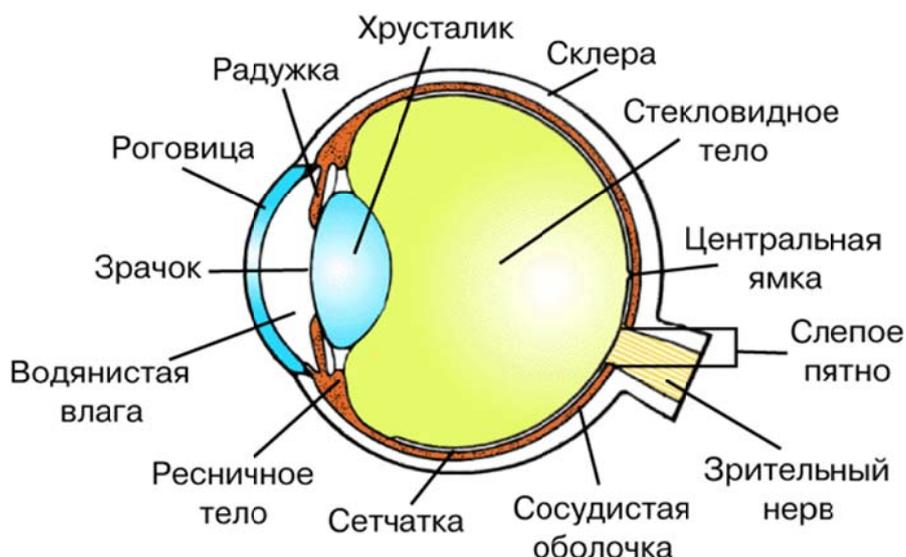


Рис. 3.1. Строение человеческого глаза

Палочки – это один из двух типов фоторецепторов, представляющий собой периферические отростки светочувствительных клеток сетчатки, названные так за свою цилиндрическую форму. Размеры палочек невелики: длина 60 мкм, диаметр – около 2 мкм. Это высокоспециализированные клетки, преобразующие световые раздражения в нервное возбуждение. Палочки чувствительны к свету благодаря наличию в них специфического пигмента – **родопсина** (или зрительного пурпура). Под действием света происходит ряд очень быстрых превращений и обесцвечивание зрительного пигмента.

Колбочки – это другой тип фоторецепторов, который также представляет собой периферические отростки светочувствительных клеток сетчатки глаза. Названы так за свою коническую форму. Размеры колбочек: длина около 50 мкм, диаметр – от 1 до 4 мкм. Также как и палочки преобразуют световые раздражения в нервное возбуждение. Светочувствительными пигментами колбочек являются две разновидности **йодопсина** (**ρ-йодопсин**, отвечающий за восприятие оттенков красного, и **γ-йодопсин**, отвечающий за восприятие оттенков зеленого), и **меланопсин**, отвечающий за восприятие оттенков синего. Колбочки приблизительно в 100 раз менее чувствительны к свету, чем палочки, но зато гораздо лучше воспринимают быстрые движения.

Фоторецепторы поглощают падающий на них свет и преобразуют его в другие виды энергии: химическую и электрическую. Такой процесс называется **эффективным поглощением**. Свет, не поглощенный фоторецепторами, проходит дальше и поглощается – уже пассивно – **пигментным эпителием**. Такое поглощение необходимо, чтобы рассеянный внутри глазного яблока свет не вуалировал изображение внешних предметов на сетчатке. Таким образом, пигментный эпителий играет ту же роль, что и чернение внутренних поверхностей фотокамер или зрительных труб.

Фоторецепторы сложным образом связаны с окончаниями волокон зрительного нерва, по которым сигналы передаются в мозг. Сложность связи определяется тем, что уже в сетчатке происходит первичная обработка полученной зрительной информации. Нервные волокна, окончания которых устилают сетчатку, сходятся к зрительному нерву. Место выхода зрительного нерва из глаза называется **слепым пятном**, так как на его поверхности фоторецепторов нет. Рядом со слепым пятном расположен участок сетчатки, окрашенный желтым пигментом (так называемое **желтое пятно**) диаметром примерно 3–5 мм, соответствующее углу зрения 2°. Желтое пятно находится примерно на оптической оси глаза. В центре желтого пятна имеется углубление – так называемая **центральная ямка** или **фовеа**, которая обеспечивает наибольшую остроту зрения. Поперечник ее составляет примерно 0,4 мм и соответствует углу зрения 1°. Это тот самый «центр наилучшего зрения», который мы обычно наводим на тот предмет, на который смотрим. В фовеа у человека и большинства животных присутствуют только колбочки, причем очень тонкие: поперечный размер фовеальной колбочки около 2 мкм, т. е. меньше минуты в угловой мере. По-видимому, каждая фовеальная колбочка через биполярную клетку связана со своим волокном зрительного нерва и таким образом имеет индивидуальное представительство в мозгу. Потому фовеа и является областью наилучшего зрения. Палочки же присоединяются к зрительному нерву целыми группами, в которые включаются в небольшом числе и периферийные колбочки. Чем дальше от фовеа, тем больше становится палочек и меньше колбочек. Всего в сетчатке около 120 млн палочек и примерно 7 млн колбочек, а волокон зрительного нерва от них отходит приблизительно всего один миллион. Поэтому изображение на сетчатке разбивается примерно на миллион элементов – рецепторных полей. Палочки обладают большей световой чувствительностью и обеспечивают нам возможность видеть в сумерках и ночью – при низких уровнях яркости – хотя бы достаточно большие предметы. Но палочки не воспринимают цвета (ночью все кошки серы).

Световая чувствительность у колбочек меньше, но именно они обеспечивают нам цветное зрение. Существует три вида колбочек, отличающихся друг от друга по своей спектральной чувствительности. Один вид более чувствителен к коротковолновой части спектра, другой к средней части, третий – к длинноволновой. Условно их можно называть синими, зелеными и красными колбочками.

Передняя часть склеры более выпукла и прозрачна. Она называется **роговой оболочкой** или **роговицей**. Толщина роговицы примерно 0,5 мм. Сосудистая оболочка спереди утолщается и переходит в **радужную оболочку (радужку)**, в середине которой имеется отверстие – **зрачок**. Сразу за зрачком располагается **хрусталик**, который помещен в тонкую прозрачную капсулу. Края капсулы прикреплены к **кольцевой (цилярной) мышце**, а она, в свою очередь, – к **ресничному телу**, которое является продолжением

сосудистой оболочки глаза. Хрусталик представляет собой двояковыпуклую линзу слоистого строения, поперечник которой способен изменяться от 3,7 мм при взгляде вдаль до 4,4 мм при ближнем рассмотрении предметов. Диаметр этого образования составляет 9 мм. Передней своей поверхностью хрусталик граничит с радужкой, сзади соприкасается со стекловидным телом.

Когда человек смотрит вдаль, цилиарная мышца, к которой прикреплены края капсулы, находится в натянутом состоянии. При ближней фокусировке изображения происходит сокращение цилиарных мышц, прикрепленных к ресничному телу. При этом связки, растягивающие хрусталик, расслабляются, и он становится более выпуклым. Хрусталик абсолютно прозрачен, что обеспечивает полное проведение световых лучей на сетчатку [3].

Находящиеся в радужной оболочке мышцы – *кольцевые* и *радиальные* – обеспечивают сужение или расширение зрачка в зависимости от интенсивности воздействующего на глаз света. Пространство между роговицей и радужной оболочкой называется *передней камерой*, а между радужной оболочкой и хрусталиком – *задней камерой* глаза. Обе камеры заполнены жидкостью, называемой *водянистой влагой*. Остальная полость глазного яблока между хрусталиком и сетчаткой заполнена студенистым веществом, называемым *стекловидным телом*.

Наличие слепого пятна на сетчатой оболочке глаза впервые открыл в 1668 г. известный французский физик Э. Мариотт. Он доказал, что сетчатая оболочка глаза в том месте, где в глаз входит зрительный нерв, не имеет светочувствительных окончаний нервных волокон. Поэтому изображения предметов, приходящихся на это место сетчатки, не передаются в мозг и, следовательно, не воспринимаются. Слепое пятно, казалось бы, должно мешать нам видеть весь предмет, но в обычных условиях мы этого не замечаем. Во-первых, потому что изображения предметов, приходящиеся на слепое пятно в одном глазу, в другом проектируются не на слепое пятно, во-вторых, потому, что выпадающие части предмета невольно заменяются образами соседних частей или фона, окружающими этот предмет (на рис. 3.2 исчезающая фигура заменяется белым фоном). Если закрыть правый глаз и посмотреть левым на фигуру, изображенную справа, держа рис. 3.2 на расстоянии 15–20 см от глаза, то при некотором положении рисунка относительно глаза изображение левой фигуры перестает быть видимым.



Рис. 3.2. К вопросу существования слепого пятна

Астрономы прошлого хорошо знали: чтобы разглядеть неяркую звезду на небе, надо смотреть чуть-чуть мимо нее. Тогда одиночные кванты света, попадающие в глаз, поглощаются не центром, где находятся преимущественно колбочки, а периферией сетчатки, где находятся палочки. Именно в палочках находится зрительный пурпур, и именно они ответственны за наше бесцветное, сумеречное зрение, когда важно лишь увидеть свет, даже самый слабый. В сетчатке ночных животных, глаз которых приспособлен к слабому свету, содержатся почти одни палочки. Например, совы и летучие мыши, которые отлично видят в темноте, почти ничего не видят днем. Мир для них черно-белый.

В дневном, цветном зрении главную роль играют колбочки, их чувствительность к свету невелика, но она и не должна быть высокой, днем и так много света. У дневных животных, например голубей, кур, в сетчатке нет палочек – одни колбочки. Вечером они ничего не видят, поэтому неспособность видеть при слабом свете не зря в народе называют «куриной слепотой». В 1823 г. знаменитый чешский физиолог Ян Пуркинье описал любопытный факт, доказывающий, что днем мы видим в основном колбочками, а в сумерках – палочками. Вспомним красный мак и голубой василек. Днем они одинаково яркие и светлые. В сумерках же красный мак кажется почти черным (колбочки уже не работают – слишком мало света), а василек остается еще белесо-синим (палочки работают вовсю). В палочках зрительный пурпур красные лучи не «чувствует», он от них не изменяется, не выцветает, потому-то красный мак не виден. Днем же работают и колбочки и палочки.

3.3. Глаз как оптический прибор

Поток излучения, отраженный от наблюдаемого предмета, проходит через оптическую систему глаза и фокусируется на внутренней поверхности глаза – сетчатке. В соответствии с законами геометрической оптики на сетчатке образуется перевернутое и уменьшенное изображение. Однако в процессе обработки полученного изображения мозг «переворачивает» его, и оно воспринимается как прямое. Оптическую систему глаза составляют роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело (рис. 3.3).

В некотором смысле глаз можно сравнить с фотоаппаратом. Но между ними имеется и существенная разница. В фотоаппарате по обе стороны объектива находится воздух. И объект съемки, и его изображение окружены одной средой – воздухом. В случае глаза свет, вошедший в глазное яблоко, попадает в среду с бóльшим коэффициентом преломления и уже не выходит из нее. При этом коэффициент преломления хрусталика (1,386) больше, чем коэффициенты преломления водянистой влаги передней каме-

ры и стекловидного тела (1,336). Поэтому при изменении радиусов кривизны поверхностей хрусталика оптическая сила всего глаза изменяется. Глаз – система иммерсионная. Вследствие этого фокусные расстояния оптической системы глаза во внешнем пространстве (переднее фокусное расстояние) и внутри глаза (заднее фокусное расстояние) не одинаковы (рис. 3.4) [4].

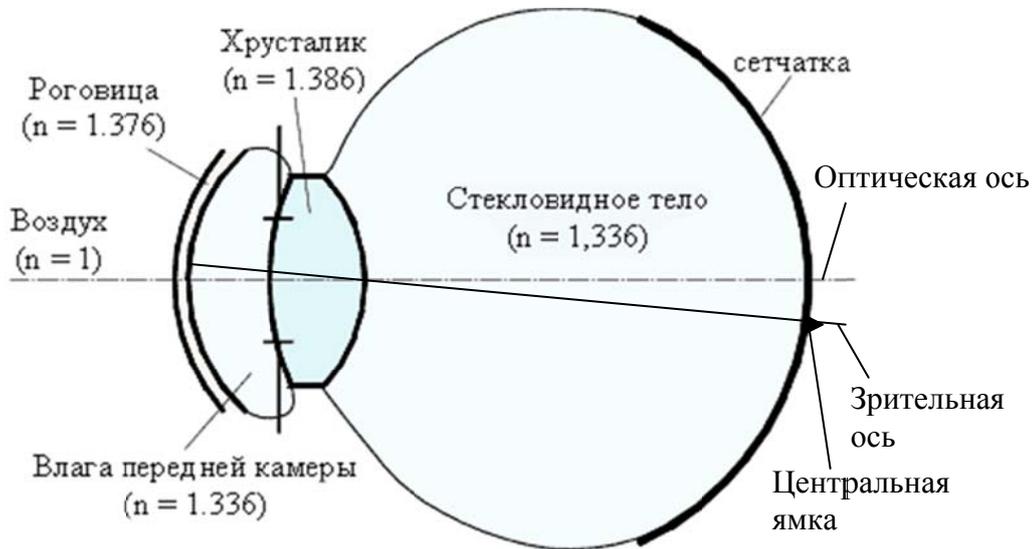


Рис. 3.46. Двенадцатичастный цветовой круг Гёте

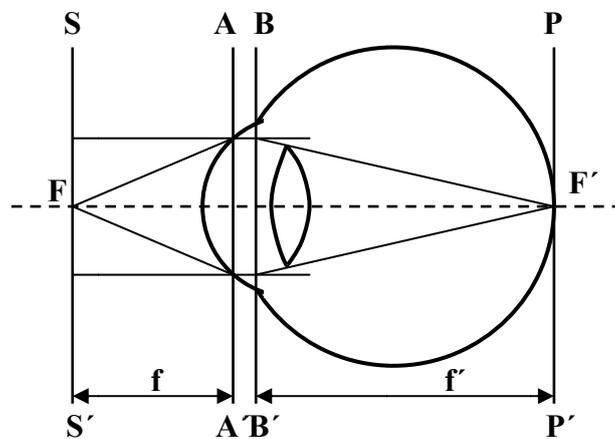


Рис. 3.4. Оптические характеристики глаза:

FF' – оптическая ось; SS' и PP' – передняя и задняя фокальные плоскости;

F и F' – передний и задний главные фокусы;

f и f' – переднее и заднее фокусные расстояния;

AA' и BB' – передняя и задняя главные плоскости

Преломляющая сила глаза зависит от величины радиусов кривизны передней поверхности роговицы, передней и задней поверхностей хрусталика, расстояний между ними и показателей преломления роговицы, хрусталика, водянистой влаги и стекловидного тела. Оптическую силу задней

поверхности роговицы не учитывают, поскольку показатели преломления ткани роговицы и влаги передней камеры одинаковы (как известно, преломление лучей возможно лишь на границе сред с различными коэффициентами преломления).

Поверхности раздела между смежными элементами глаза с различными коэффициентами преломления являются асферическими. Поэтому оптическую систему глаза можно только приближенно считать центрированной и выделить в ней оптическую ось. Оптическая ось не проходит через зону наилучшего видения – центральную ямку. Но изображение точки, на которой мы фиксируем взгляд, ложится именно на центральную ямку. Направление взгляда называют осью фиксации или **зрительной осью**. Угол между оптической и зрительной осями составляет примерно 5° .

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАЗА

1. Диаметр зрачка 1–8 мм.
2. Фокусное расстояние:
 - а) переднее – 17,1 мм;
 - б) заднее 23,8 мм.
3. Поле зрения:
 - а) резкое видение 2° ;
 - б) без различения мелких предметов:
 - горизонтальное – 30° ;
 - вертикальное – 20° ;
 - в) все поле зрения:
 - горизонтальное:
 - в сторону виска – 90° ;
 - в сторону носа – 60° ;
 - всего – 150° ;
 - горизонтальное поле зрения обоими глазами – 180° , однако при этом острота зрения быстро падает от центра сетчатки (фовеа) к периферии.
 - вертикальное:
 - верх – 50° ;
 - вниз – 70° .
4. Угол поворота глаз – $\pm 50^\circ$.
5. Диапазон воспринимаемого потока излучения: от 380 нм до 780 нм.
6. Расстояние между глазами (база) 54–74 мм.

Оптическая система глаза, как и большинство оптических систем, не свободна от сферической и хроматической аберрации.

Сущность **сферической аберрации** состоит в том, что точки сходимости лучей, проходящих через зрачок вблизи его оптической оси (парциальных

лучей), и лучей, проходящих через его края, находятся в разных местах [5]. Фокус для парциальных лучей находится дальше от зрачка, чем фокус для краевых лучей, поскольку кривизна поверхности зрачка больше у края, а в центре и его окрестностях поверхность зрачка почти плоская (рис. 3.5). Расстояние между этими фокусами называется **продольной сферической aberrацией**, а минимальный диаметр светового пучка, который можно получить с помощью данной оптической линзы (зрачка) – **поперечной сферической aberrацией**. Наличием сферической aberrации глаза (в данном случае – поперечной) объясняется то, что малые источники света мы видим как лучистые звездочки.

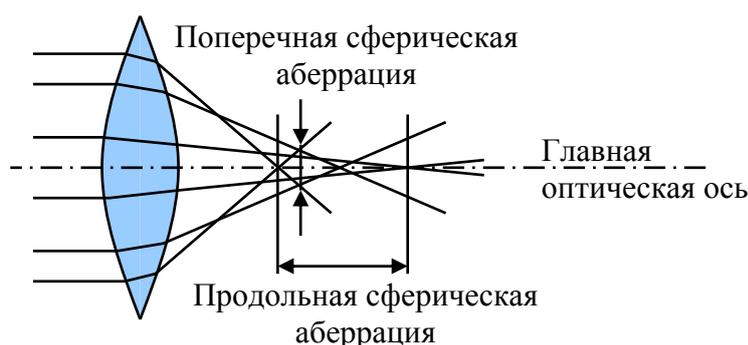


Рис. 3.5. Сферическая aberrация

В существовании сферической aberrации легко убедиться, если разглядывать тонкую черную нить перед каким-нибудь ярким источником света – в этом месте она будет казаться разорванной. Из-за рассеяния света на сетчатке, обусловленным поперечной сферической aberrацией, нить становится невидимой. Когда нам хочется получше рассмотреть предмет, мы щуримся, сближая веки и уменьшая отверстие, через которое лучи света проходят в глаз. Края зрачка и хрусталика при этом «выключаются» из работы, сферическая aberrация уменьшается, и мы видим предмет четче. Того же самого эффекта можно добиться, если разглядывать очень мелкие предметы (или чрезмерно мелкий текст) через отверстие, проколотое в бумаге с помощью булавки.

Иногда в отсутствие бинокля или зрительной трубы рассматривать отдаленные объекты на местности помогает «оптический прибор» в виде неплотно сжатой в кулак руки – маленькое отверстие с противоположной стороны кулака увеличивает четкость изображения.

При ярком дневном освещении мы видим лучше не только потому, что света больше, но и потому, что зрачок при этом сужается и сферическая aberrация уменьшается.

Сущность **хроматической aberrации** состоит в том, что угол отклонения светового луча при преломлении на поверхности линзы (в рассматриваемом случае – зрачка) зависит от длины волны. Поэтому изображе-

ния, соответствующие разным длинам волн, не совпадают друг с другом ни по положению, ни по размерам. В результате при использовании белого света на границах темных и светлых областей изображения образуются окрашенные контуры.

Хроматическая аберрация человеческого глаза выражена достаточно слабо и поэтому малозаметна. Тем не менее если смотреть в бесконечность, то фокус фиолетовых лучей будет расположен на 0,43 мм ближе к хрусталику, чем фокус красных лучей. Поэтому предметы, особенно белые, освещенные белым светом, дадут на сетчатке изображение, окруженное цветной каймой.

3.4. Аккомодация и конвергенция

Аккомодация – это способность глаза приспосабливаться к четкому различению предметов, расположенных на разных расстояниях от глаза.

Аккомодация происходит путем изменения кривизны поверхностей хрусталика при помощи натяжения или расслабления мышц ресничного тела. Когда они натянуты, хрусталик растягивается, и его радиусы кривизны увеличиваются. При уменьшении натяжения мышцы хрусталик под действием упругих сил увеличивает свою кривизну.

В свободном, ненапряженном состоянии нормального глаза на сетчатке получают ясные изображения бесконечно удаленных предметов, а при наибольшей аккомодации видны самые близкие предметы [7].

Величину аккомодации A принято выражать в диоптриях. Диоптрия – это условная единица, с помощью которой измеряется степень преломления параллельного пучка света оптической системой глаза (рефракция). За одну диоптрию принята преломляющая сила линзы с главным фокусным расстоянием в 1 м. Диоптрия – это величина, обратная главному фокусному расстоянию. Ее величина D выражается следующей формулой:

$$D = 1/F.$$

Положение предмета, при котором создается резкое изображение на сетчатке для ненапряженного глаза, называют **дальней точкой глаза**.

Положение предмета, при котором создается резкое изображение на сетчатке при наибольшем возможном напряжении глаза, называют **ближней точкой глаза**.

С возрастом способность глаза к аккомодации постепенно уменьшается. Скажем, в возрасте 20 лет для среднего глаза ближняя точка находится на расстоянии около 10 см (диапазон аккомодации 10 дптр), в 50 лет ближняя точка располагается на расстоянии уже около 40 см (диапазон аккомодации 2,5 дптр), а к 60 годам уходит на бесконечность, т. е. аккомодация

прекращается. Это явление называется возрастной дальнозоркостью или *пресбиопией*.

Аккомодация обычно связана с *конвергенцией*, т. е. сведением зрительных осей на фиксируемом предмете под некоторым углом. Определенному состоянию аккомодации соответствует определенный угол сведения зрительных осей, и наоборот, тому или иному углу сведения зрительных осей соответствует определенная степень аккомодации (рис. 3.6).

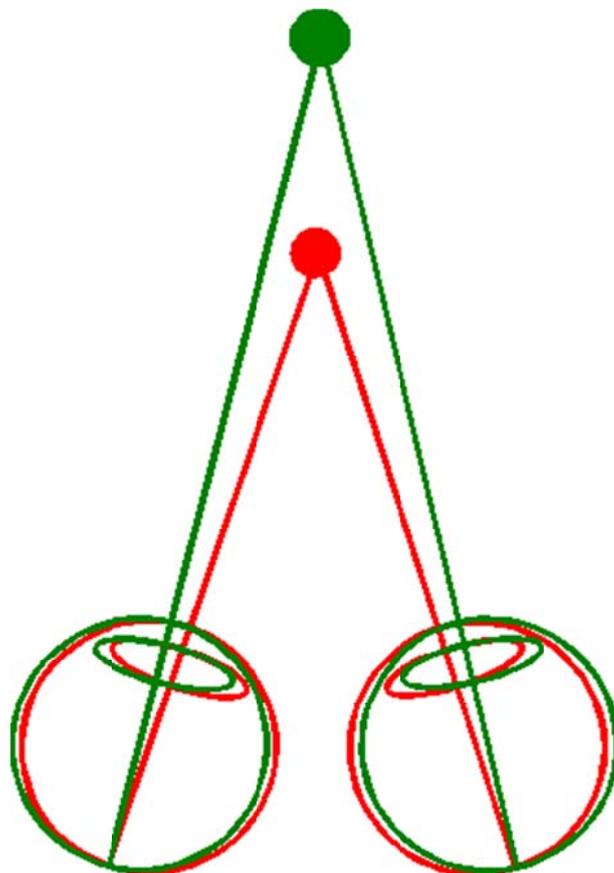


Рис. 3.6. Конвергенция

Угол конвергенции непосредственно используется как индикатор расстояния, как своеобразный дальномер. Можно изменить угол конвергенции для данного расстояния с помощью призм, помещенных перед объектом. Если при этом угол конвергенции увеличивается, видимая величина объекта тоже увеличивается, а воспринимаемое до него расстояние уменьшается. Если же призмы расположены так, что угол конвергенции уменьшается, то видимый размер объекта тоже уменьшается, а расстояние до него увеличивается.

Комбинация двух раздражителей – величины изображения предмета на сетчатке и степени напряжения глазных мышц в результате аккомодации и конвергенции, скорее всего, и является источником информации для мозга, позволяющей ему оценивать размеры воспринимаемых предметов.

Однако с помощью аккомодации и конвергенции невозможно полностью объяснить восприятие и оценку расстояния до объектов, так как эти механизмы «работают» в ограниченных пределах расстояний: 5–6 м для аккомодации и до 450 м для конвергенции. В то же самое время человек способен различать удаленность объектов, расположенных от него на гораздо больших расстояниях – до 2,5 км. При оценке больших расстояний, вероятнее всего, используется информация о взаимном расположении объектов на сетчатке правого и левого глаз.

3.5. Иррадиация

Явление *иррадиации* (по-латыни – неправильное излучение) состоит в том, что светлые предметы на темном фоне кажутся больше своих истинных размеров, распространяясь на приграничные области темного фона [8, 9].

Явление иррадиации известно очень давно. Еще Витрувий (I в. до н. э.), архитектор и инженер Древнего Рима, в своих трудах обращал внимание на то, что при сочетании темного и светлого «свет пожирает мрак». Но правдоподобно объяснить природу иррадиации ученые долгое время не могли. Впервые это сделал Гельмгольц только в XIX в. По его мнению, первопричиной иррадиации являются следующие обстоятельства.

Изображение каждой светящейся точки на сетчатке глаза из-за неточной аккомодации и наличия сферической аберрации имеет вид маленького размытого кружочка. Когда мы рассматриваем светлую поверхность на темном фоне, то по указанным причинам границы этой поверхности как бы раздвигаются, и поверхность эта кажется нам больше своих истинных размеров. На рис. 3.7 за счет яркости цветов белый квадрат кажется значительно большим относительно черного квадрата на белом фоне, хотя они совершенно одинаковые.

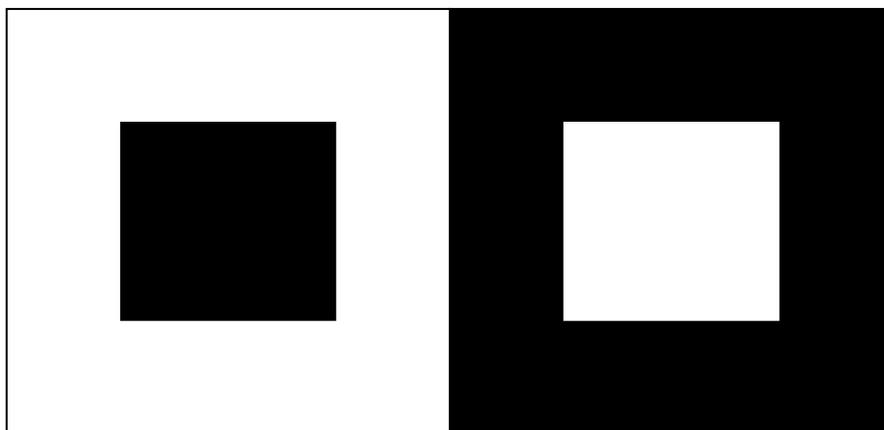


Рис. 3.7. Иррадиация

Леонардо да Винчи в своих записках говорит о явлении иррадиации следующее: «Когда Солнце видимо за безлиственными деревьями, все их ветви, находящиеся против солнечного тела, настолько уменьшаются, что становятся невидимыми. То же самое произойдет и с древком, помещенным между глазом и солнечным телом. Я видел женщину, одетую в черное, с белой повязкой на голове, причем последняя казалась вдвое больше, чем ширина плеч женщины, которые были одеты в черное. Если с большого расстояния рассматривать зубцы крепостей, отделенные друг от друга промежутками, равными ширине этих зубцов, то промежутки кажутся много большими, чем зубцы...».

В своем трактате «Учение о цветах» упоминал о ряде случаев наблюдения иррадиации и великий немецкий поэт Гёте: «Темный предмет кажется меньше светлого той же величины. Если рассматривать одновременно белый круг на черном фоне и черный круг того же диаметра на белом фоне, то последний нам кажется примерно на 1/5 меньше первого. Если черный круг сделать соответственно больше, они покажутся одинаковыми. Молодой серп Луны кажется принадлежащим кругу большего диаметра, чем остальная темная часть Луны, которая иногда бывает при этом различима».

Датские специалисты, изучив статистику автомобильных аварий на дорогах Европы, пришли к выводу, что 61 % всех происшествий произошел с машинами, окрашенными в черный цвет. При этом на автомобилях светлых тонов приходится только 6 % аварий. Проведенные впоследствии опыты показали, что черная окраска как бы удаляет машину.

Архитекторы Древней Греции также были хорошо знакомы с явлением иррадиации, поэтому угловые колонны храмов делали толще прочих, полагая, что эти колонны в большинстве ракурсов будут видны на фоне яркого средиземноморского неба и, вследствие иррадиации, будут казаться тоньше своих истинных размеров. Именно так был построен знаменитый Парфенон.

Люди в темной одежде кажутся тоньше, чем в светлой. Поэтому женщины, которые стремятся выглядеть стройнее, предпочитают черные платья и избегают светлых.

3.6. Диапазон видимого света

Человеческий глаз способен воспринимать (видеть) электро-магнитное излучение только в узком диапазоне, ограниченном значениями длины волны излучения λ от 380 до 780 нм. Этот диапазон называется **диапазоном видимого света**. Такие волны занимают диапазон частот электромагнитного излучения от 400 до 790 ТГц. Электромагнитное излучение с такими длинами волн также называется **видимым светом**, или просто **светом**. Излучение с длиной волны до 380 и выше 780 нм органами зрения человека не воспринимается, хотя оно может восприниматься с помощью других ор-

ганов чувств (например, инфракрасное излучение мы способны воспринимать как тепло с помощью осязания), либо регистрироваться специальными приборами (рис. 3.8).

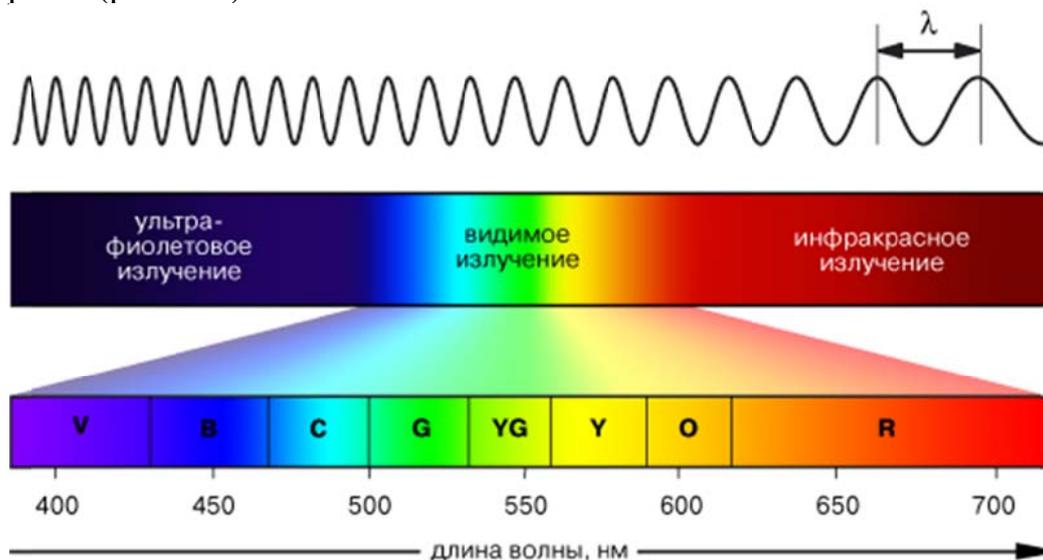


Рис. 3.8. Диапазон видимого света в спектре электромагнитного излучения различных длин волн

В зависимости от длины волны световое излучение воспринимается человеческим глазом окрашенным в тот или иной цвет (правильнее сказать, вызывает у человека ощущение того или иного цвета) – от фиолетового до красного. Эта способность определяет возможность цветового видения человека [10].

Одним из первых исследований спектра видимого излучения занялся Исаак Ньютон, результаты этих исследований были изложены им в классической монографии «Оптика» (1704). Именно он еще в 1671 г., описывая в печати свои оптические эксперименты, ввел в обиход термин *спектр* (от латинского слова *spectrum* – видение, появление). Ньютону также принадлежит идея деления света на семь цветов. Проводя опыты по разложению солнечного света в спектр с помощью призмы, Ньютон убедился, что белый свет представляет собой смесь излучения различных цветов, при этом спектральные цвета плавно переходят друг в друга, пробегая всю гамму всевозможных оттенков – от красного до фиолетового [11]. Однако все это многообразие цветов, по его мнению, можно свести к нескольким первичным цветам. Первоначально в качестве первичных он выделил только пять цветов – красный, желтый, зеленый, голубой и фиолетовый. Но поскольку Ньютон искренне считал, что между оттенками цвета, нотами в музыке и днями недели существует связь, то впоследствии он добавил к вышеперечисленным цветам оранжевый и индиго. Поэтому в дальнейшем в качестве первичных (или основных) цветов он уже называл красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, индиго и фиолетовый. Однако человеческий глаз плохо различает оттенки синего цвета и цвет индиго мно-

гие путают с голубым или фиолетовым. Поэтому впоследствии в некоторых странах, в том числе в России, индиго был заменен на синий, хотя в западной классификации цветов он присутствует до сих пор. Как бы там ни было, а ньютоновский способ деления спектра на семь цветов прижился и благополучно используется до сих пор. Тем не менее, зная историю его появления, следует понимать, что такое деление весьма условно.

Отечественная классификация основных спектральных цветов представлена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные спектральные цвета и их характеристики

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц
Фиолетовый	380-440	790-680
Синий	440-485	680-620
Голубой	485-500	620-600
Зеленый	500-565	600-530
Желтый	565-590	530-510
Оранжевый	590-625	510-480
Красный	625-780	480-400

В отличие от человека, многие виды животных способны ощущать как цвет излучение, для нас не видимое. Например, насекомые хорошо видят в ультрафиолетовом диапазоне, поэтому расцветка цветов, с которых пчелы и бабочки собирают нектар, для них совершенно иная в сравнении с той, которую видит человеческий глаз, и гораздо более яркая. Это жизненно важно для растений, поскольку помогает им привлекать насекомых-опылителей. Многие птицы также воспринимают ультрафиолетовое излучение в диапазоне 300–400 нм, а некоторые имеют на оперении специальные ярко окрашенные в ультрафиолетовом свете метки, необходимые для привлечения партнеров противоположного пола.

Некоторые виды холоднокровных животных способны воспринимать инфракрасное излучение. К числу таких животных относятся кровососущие насекомые – комары, клопы, клещи и некоторые рептилии. У насекомых чувствительные терморцепторы чаще всего располагаются в антеннах (специальных волосках на голове). Благодаря наличию двух антенн насекомые могут очень точно определять направление на источник тепла. Тепловые «глаза» змеи, получившие название «лицевые ямки», представляют собой специализированные органы, чувствительные к инфракрасному из-

лучению внешних объектов. Лицевые ямки, как правило, расположены впереди и чуть ниже обоих глаз змеи, а их число зависит от вида змеи и может достигать 26 (у питона).

3.7. Порог зрительного ощущения.

Чувствительность зрения

Минимальная величина интенсивности света, вызывающая зрительное ощущение называется *порогом зрительного ощущения*.

Пороги зрительного ощущения – величины очень изменчивые и зависят от целого ряда внутренних и внешних условий: адаптации глаза к световому воздействию, угловых размеров наблюдаемого объекта, характера взаимодействия с другими органами чувств, возраста наблюдателя, общего состояния его организма, а также от того, в каком состоянии у него сами органы зрения – в нормальном или патологическом [12].

Различают три вида зрения:

- *дневное* (фотопическое) – когда яркость объектов не менее $1,0 \text{ кд/м}^2$ и работают только колбочки;
- *сумеречное* (мезопическое) – при яркостях от $1,0$ до 10^{-3} кд/м^2 , когда совместно работают и колбочки и палочки;
- *ночное* (скотопическое), когда яркость объектов не превышает 10^{-3} кд/м^2 и работают только палочки.

Поскольку порог зрительного ощущения характеризует именно ночное видение, когда работают только палочки, то исследования по его экспериментальному определению заключаются в исследовании чувствительности палочек. При этом необходимо учитывать механизмы световой и темновой адаптации глаза. Состоят они в следующем.

Если человек в течение нескольких часов находится при ярком освещении, то фоточувствительные пигменты как палочек, так и колбочек разрушаются. Более того, большое количество продуктов этого разрушения (*ретиналя*) в обоих типах рецепторов превращается затем в витамин А. В результате концентрация фоточувствительных веществ в рецепторах сетчатки значительно уменьшается, и чувствительность глаза к свету снижается. Этот процесс называют *световой адаптацией*.

Если же человек долго находится в темноте, то светочувствительные пигменты в палочках и колбочках восстанавливаются. Кроме того, витамин А переходит в ретиналь, а он в свою очередь – в светочувствительный пигмент. Этот процесс называют *темновой адаптацией*.

Во время темновой адаптации – сразу после того как человек после яркого света оказывается в темноте, чувствительность его сетчатки очень низкая. Но в течение первой же минуты она увеличивается примерно в 10 раз, т. е. теперь сетчатка может реагировать на свет, интенсивность которого составляет 1/10 часть от той, которая была при ярком свете. Через 20 мин чув-

ствительность возрастает в 6000 раз, а через 40 мин – примерно в 25 000 раз.

Следует отметить, что все химические превращения в колбочках происходят примерно в 4 раза быстрее, чем в палочках. Поэтому световая адаптация глаза, обусловленная изменением чувствительности колбочек, заканчивается уже через 5 минут. Однако изменения чувствительности колбочек в темноте никогда не достигают такой степени, как у палочек. Поэтому благодаря высокой скорости адаптации колбочки уже через несколько минут прекращают адаптироваться, а чувствительность медленно адаптирующихся палочек продолжает возрастать в течение многих минут и даже часов, достигая чрезвычайно высокой степени.

Кроме того, высокая чувствительность палочек связана с конвергенцией 100 или более палочек на одиночную нервную клетку в сетчатке. При этом реакции этих палочек суммируются, увеличивая их чувствительность [13].

Кроме адаптации, связанной с изменениями концентрации фоточувствительных пигментов, глаза имеют и другие механизмы световой и темновой адаптации. Прежде всего – изменение диаметра зрачка. Это может вызвать примерно 30-кратную адаптацию в течение долей секунды путем изменения количества света, попадающего на сетчатку через отверстие зрачка. Другим механизмом является *нервная адаптация*, состоящая в том, что при увеличении освещенности интенсивность передачи сигналов по нервным волокнам быстро снижается. Однако в этом случае чувствительность изменяется всего лишь в несколько раз, а не в тысячи, как при фотохимической адаптации. Нервная адаптация, как и адаптация зрачка, происходит за доли секунды. Тем не менее для полной адаптации глаза в целом из-за продолжительности адаптации фоточувствительной химической системы требуются многие минуты (световая адаптация) и даже часы (темновая адаптация).

Опыты показали, что при оптимальных условиях тестирования (после нескольких часов темновой адаптации испытуемого) минимальное количество света, необходимое для того, чтобы вызвать зрительное ощущение, т. е. абсолютный порог зрительного ощущения, чрезвычайно мало. Классические исследования по экспериментальному определению порога в середине XX в. были выполнены немецкими физиологами Хехтом, Шлаером и Пиренном. Результаты этих исследований были опубликованы в 1942 г. Они описали несколько исключительно интересных способов определения порога при максимальной чувствительности зрения – например тестирование наиболее чувствительного участка адаптированной к темноте сетчатки светом с такой длиной волны, к которой он наиболее чувствителен при ночном зрении – 510 нм. Они выяснили, что абсолютный порог лежит в интервале 3–4 квантов (фотонов). В единицах светимости абсолютный порог равен 0,000001 мЛ. Они также показали, что при оптимальных условиях для активации одной палочки достаточно энергии всего одного фотона.

Хотя эти величины и получены расчетным путем и относятся только к теоретически возможной максимальной чувствительности, они, безусловно, свидетельствуют о том, что человеческий глаз является чрезвычайно чувствительным детектором света. Таким образом, чувствительность человеческого зрения, как и чувствительность слуха, находится на пределе биологической целесообразности. Другими словами, если бы глаз был чуть более чувствительным, то при определенных условиях свет воспринимался бы не как непрерывное волновое явление, а как дискретная энергия, выделяющаяся квантами – фотонами.

Очевидно, что световая чувствительность человеческого глаза намного превосходит возможности большинства существующих систем регистрации изображения. Если выразить ее в единицах энергии, то человеческий глаз способен реагировать на поток световой энергии порядка 10^{-16} Вт/см². Если бы мы попытались использовать эту энергию для нагревания воды, то для того, чтобы нагреть один кубический сантиметр воды на 1°, потребовалось бы 1 млн лет. Если выразить чувствительность человеческого глаза в единицах чувствительности фотопленки, то она будет эквивалентна фотопленке с чувствительностью 15 млн единиц ASA.

Замечено, что чувствительность человеческих органов чувств, в том числе зрения, зависит не только от степени воздействия стимула, но и от различного рода внутренних состояний.

Повышение чувствительности анализаторов под влиянием внутренних (психических) факторов называется *сенсibiliзацией*. С помощью психологических и физиологических исследований установлено, что, к примеру, слабые кисло-сладкие вкусовые ощущения повышают зрительную чувствительность. Чувствительность зрительного анализатора можно также повысить, стимулируя ее негромкими музыкальными звуками или обтиранием лица прохладной водой. Такие, странные на первый взгляд, феномены объясняются взаимосвязью данных анализаторов, их системной работой.

Однако взаимодействие ощущений в одних случаях приводит к сенсibiliзации, т. е. к повышению чувствительности, а в других случаях – наоборот, к ее понижению, т. е. к *десенсибилизации*. Сильное возбуждение одних анализаторов всегда понижает чувствительность других анализаторов. Так, повышенный уровень шума в «громких цехах» снижает зрительную чувствительность.

Одним из проявлений взаимодействия ощущений является контраст ощущений.

Контраст ощущений – это повышение чувствительности к одним свойствам действительности под влиянием других, противоположных свойств.

Например, одна и та же фигура серого цвета на белом фоне кажется темной, а на черном – светлой (рис. 3.9).

Интересный эффект, связанный с контрастом, называется явлением *краевого контраста*. На рис. 3.10 яркости каждого из прямоугольников фигуры не одинаковы, а несколько темнее у границы с более светлым участком и несколько светлее у границ с более темным. Может даже показаться, что эти прямоугольники заштрихованы так, чтобы создавалось впечатление их поперечной вогнутости. Однако, закрывая соседние прямоугольники, можно убедиться, что каждый из них имеет совершенно одинаковую штриховку.

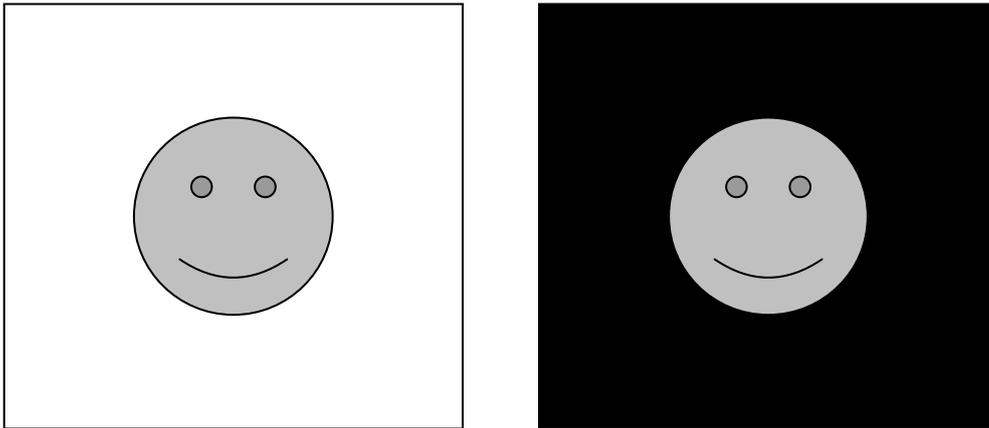


Рис. 3.9. Контраст ощущений:
рожица на белом фоне (слева) кажется темной, а на черном (справа) – светлой

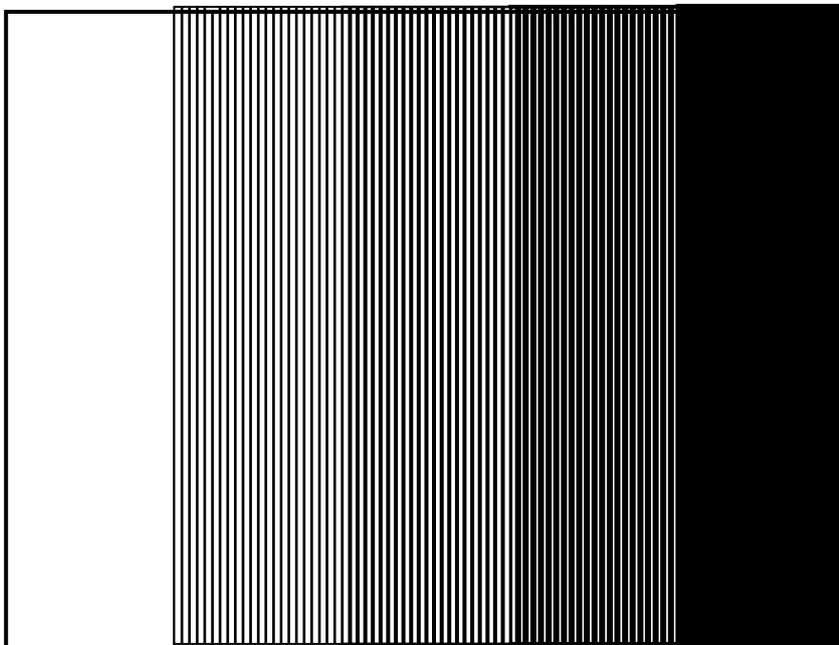


Рис. 3.10. Краевой контраст со штриховкой

Тот же самый эффект можно наблюдать при сплошной тонировке прямоугольников (рис. 3.11). У границ с более светлым участком тонировка сгущается, а у границ с более темным участком, наоборот, кажется более светлой.



Рис. 3.11. Краевой эффект со сплошной заливкой

С возрастом чувствительность зрительного анализатора имеет тенденцию к понижению из-за ухудшения оптических свойств склеры и зрачка, а также рецепторного звена восприятия.

3.8. Острота зрения

Разрешающую способность любого прибора, формирующего изображение, принято характеризовать некоторым предельным углом δ , т. е. угловым размером наименьшего объекта, который еще различается отдельно. Чем меньше δ , тем больше разрешающая способность прибора.

Пределом разрешающей способности глаза считается тот минимальный угол зрения, вплоть до которого мы видим объект как протяженный предмет. Величину V , обратную разрешающей способности глаза, называют остротой зрения

$$V = 1/\delta.$$

Если измерять угол зрения в минутах ($1' = 1^\circ/60$) и считать, что в числителе также стоит одна минута, то V получается безразмерной величиной. Условно принято считать, что глаз с нормальной остротой зрения способен увидеть раздельно две удаленные точки, если угловое расстояние между ними равно одной угловой минуте. Это относится как к двум рассматриваемым точкам, так и к двум штрихам или линиям. Поэтому в офтальмологии за нормальную остроту зрения принимают $V = 1$. Таким образом, если условия освещения и контраст предметов с фоном достаточны, то среднее

значение угла, под которым человек с нормальным зрением может видеть предмет протяженным, составляет всего 1'. Если угол меньше 1', то предмет будет выглядеть как точка [4].

Остроту зрения определяют с помощью специальных испытательных таблиц. В отечественной медицине для этого чаще всего используют таблицу Сивцева (рис. 3.12), названную так в честь советского офтальмолога Д. А. Сивцева (1875–1940). Для этого расстояние, с которого буквы таблицы четко различает испытуемый, делят на расстояние, с которого те же буквы различает человек с нормальной остротой зрения (формула Снеллена):

$$V = d/D,$$

где d – расстояние, с которого знаки данного ряда таблицы видит испытуемый; D – расстояние, с которого видит глаз с нормальной остротой зрения.

Принято считать, что человеческий глаз с остротой зрения, равной единице ($V = 1,0$), различает две точки, угловое расстояние между которыми равно одной минуте с расстояния 5 м. При расстоянии в 5 м это соответствует 1,45 мм – именно таким должно быть расстояние между ближайшими палочками буквы «Ш» в десятой строке на проверочной таблице (на рис. 3.12 это пятая строка сверху).

D = 8,33	Н Ш Ы И К Б	V = 0,6
D = 7,14	Ш И Н Б К Ы	V = 0,7
D = 6,25	К Н Ш М Ы Б И	V = 0,8
D = 5,55	Б К Ш М И Ы Н	V = 0,9
D = 5,0	Н К И Б М Ш Ы Б	V = 1,0
D = 3,33	Ш И Н К М И Ы Б	V = 1,5
D = 2,5	И М Ш Ы Н Б М К	V = 2,0

Рис. 3.12. Фрагмент испытательной таблицы Д. А. Сивцева

В достаточно темную ночь две близкие звезды мы видим каждую в отдельности (разрешаем их), если угол между ними больше 1'. Если угол меньше 1', то они сливаются в одну звезду. Для примера: под углом в 1' видна булавочная головка с расстояния около 3 м. Тем не менее встречаются

ся люди с необыкновенно зорким зрением, которые глазами видели то, что видно только в телескоп, например спутники Юпитера, близкие двойные звезды. Еще до изобретения телескопов некоторые люди различали так называемые «рога» Венеры, когда она видна в виде узкого серпа. Уже в сочинениях древних авторов встречаются изображения Венеры в виде двурогой человеческой фигуры.

С уменьшением освещенности, например с наступлением ночи, минимальный разрешаемый угол увеличивается, а острота зрения уменьшается. Если днем можно увидеть объект с поперечником в $1'$, то ночью плохо виден объект с поперечником в 1° .

3.9. Цветное зрение

Как уже отмечалось в разделе 3.2, светочувствительные рецепторы – палочки и колбочки обладают неодинаковой чувствительностью: колбочки приблизительно в 100 раз менее чувствительны к свету, чем палочки [14–16].

Колбочки, в зависимости от того, к излучению какого спектрального состава они чувствительны, подразделяются на три типа и обозначаются греческими буквами β (бета), γ (гамма) и ρ (ро). Первый тип (β) имеет максимум чувствительности к световым волнам с длиной примерно от 400 до 500 нм (условно «синяя» составляющая спектра), второй (γ) – к световым волнам от 500 до 600 нм (условно «зеленая» составляющая спектра) и третий (ρ) – к световым волнам от 600 до 700 нм (условно «красная» составляющая спектра). Чувствительность их также различна (рис. 3.13). Наибольшей чувствительностью обладают «красные» колбочки, наименьшей – «синие».

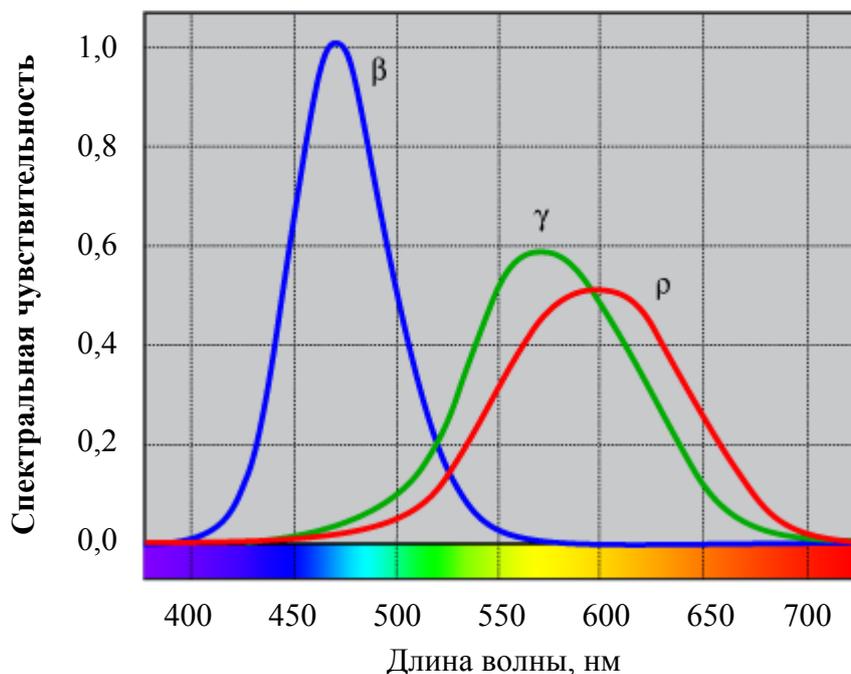


Рис. 3.13. Кривые спектральной чувствительности колбочек

В природе излучение различных источников света редко бывает монохроматичным, т. е. представленным излучением только одной длины волны. Почти всегда оно имеет довольно сложный спектральный состав. В зависимости от того, световые волны какой длины и интенсивности присутствуют в спектре света, те или иные группы колбочек возбуждаются сильнее или слабее. От этого и зависит воспринимаемая человеческими органами зрения цветовая окраска освещения или цвет отражающей поверхности.

Если по оси абсцисс отложить длину волны λ излучения источника света, а по оси ординат – энергию лучистого потока Φ , то на графике получатся кривые, характеризующие распределение энергии света в спектрах излучения различных источников (рис. 3.14).

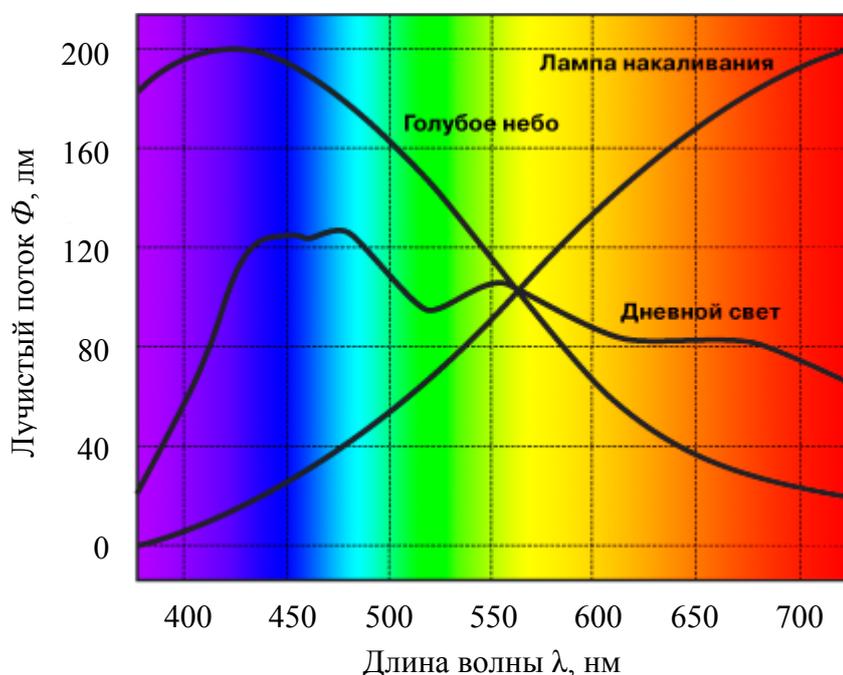


Рис. 3.14. Примеры распределения энергии света в спектрах излучения различных источников: свет от ясного голубого неба, среднедневной солнечный свет, свет лампы накаливания

То же самое относится и к свету, отраженному от различных поверхностей. Цвет любой поверхности (в том числе – окрашенной) определяется как зависимость коэффициента отражения C этой поверхности от длины волны λ падающего на нее света (рис. 3.15).

В сумерках или ночью, когда интенсивность попадающего в глаз излучения становится очень низкой, колбочки работать перестают и человек видит только за счет палочек, чувствительность которых намного выше чувствительности колбочек. Но палочки не воспринимают цвета. Поэтому

в темное время суток, а также в других условиях, характеризующихся низкой освещенностью, человек перестает различать цвета и мир предстает перед ним в черно-белых (сумеречных) тонах. Однако световая чувствительность человеческого глаза в этих условиях чрезвычайно высока и намного превосходит чувствительность большинства существующих технических систем регистрации изображения.

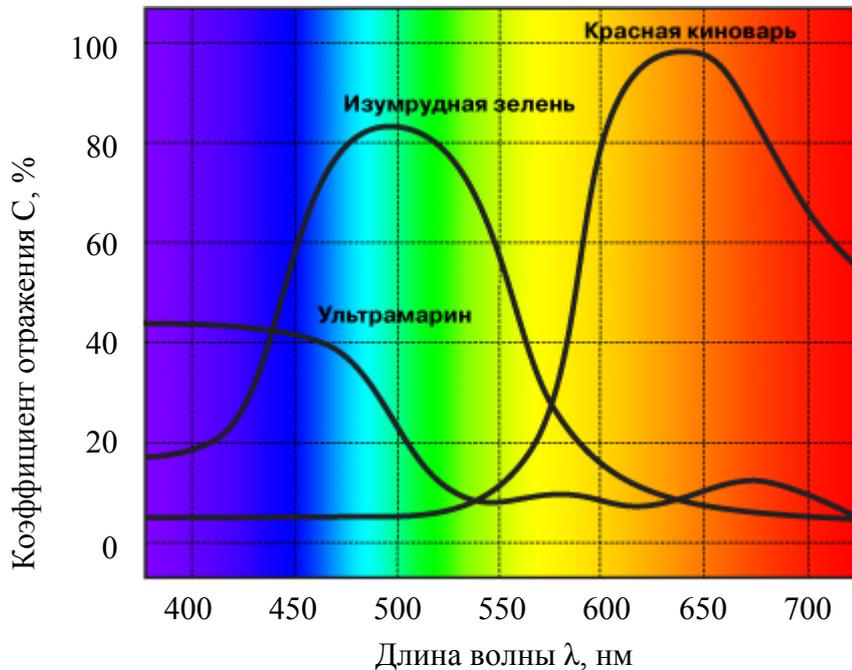


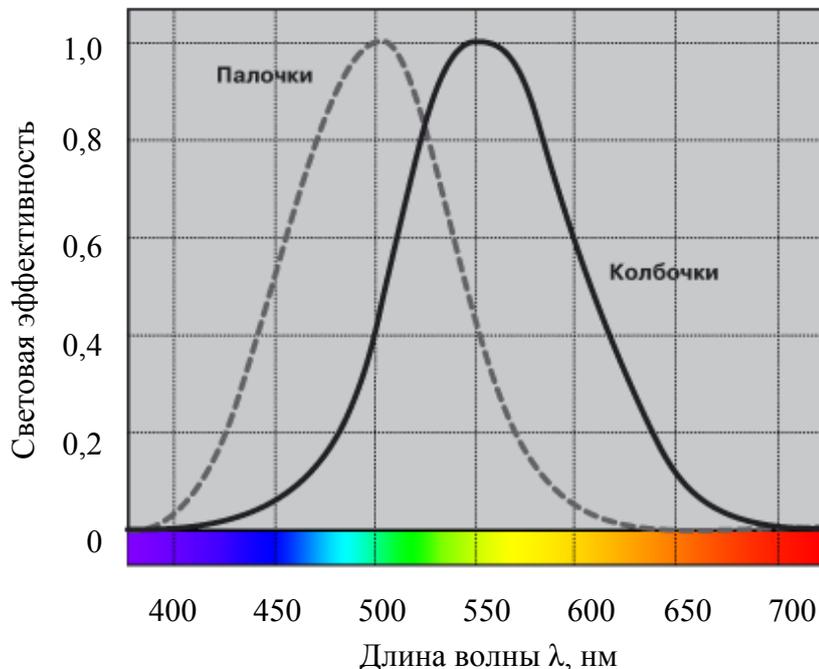
Рис. 3.15. Кривые спектра отражения поверхностей, окрашенных различными красками: изумрудной зеленью, красной киноварью, ультрамарином

Для характеристики общей спектральной чувствительности человеческого глаза к потоку светового излучения используются **кривые относительной световой эффективности**, определяющие общую чувствительность человеческого глаза к свету с учетом как цветового (колбочки), так и светового (палочки) зрения (рис. 3.16). Эти зависимости представляют большой интерес для специалистов, поскольку позволяют объяснить ряд известных феноменов человеческого зрения.

Из приведенных кривых видно, что в дневное время, когда яркость освещения велика, человек лучше всего воспринимает зеленые и зелено-желтые цвета, в то время как его чувствительность к синим цветам заметно ниже.

Ситуация несколько меняется в сумерках, когда чувствительные к яркому световому излучению колбочки начинают терять свою эффективность и соотношение между палочками и колбочками изменяется – максимум спектральной световой эффективности смещается в сторону синих излучений (палочковое зрение).

Учеными установлена интересная особенность человеческого зрения. Она состоит в том, что главному хрусталику труднее фокусироваться на предметы, окрашенные в сине-фиолетовые тона. Это объясняется падением спектральной чувствительности глаза в этих областях спектра. Поэтому очки иногда делают не нейтрально-прозрачными, а из стекол, окрашенных либо в желтый, либо коричневый цвет, поскольку они задерживают сине-



фиолетовую составляющую спектра.

Рис. 3.16. Нормализованные кривые относительной световой эффективности палочек (пунктирная линия) и колбочек (сплошная линия)

Из-за того, что кривые спектральной чувствительности частично перекрываются, человек может сталкиваться с определенными сложностями при различении некоторых чистых цветов. Так, из-за того, что кривая спектральной чувствительности колбочек типа р (условно чувствительных к красной части спектра) сохраняет некоторую чувствительность в области сине-фиолетовых цветов, нам кажется, что синие и фиолетовые цвета имеют примесь красного [16].

Влияет на восприятие цвета и общая световая чувствительность глаза. Поскольку кривая относительной световой эффективности колбочек представляет собой гауссиану с максимумом в точке 550 нм (для дневного зрения), то цвета по краям спектра (синие и красные) воспринимаются нами менее яркими, чем цвета, занимающие центральное положение в спектре (зеленый, желтый, голубой).

Наконец, следует заметить еще одно немаловажное обстоятельство. Дело в том, что человеческий глаз способен адекватно различать цвет од-

нородно окрашенного объекта, только если угол зрения на него не менее 2°. При уменьшении угловых размеров объектов цветовое ощущение глаза начинает искажаться. Когда угол зрения на объект составляет примерно 10–25', то цвет объекта воспринимается как смесь оранжевого и голубого цветов. Начиная с 6–10' ощущение цветности полностью утрачивается. Поэтому мелкие объекты в телевидении можно передавать в черно-белом виде. При дальнейшем уменьшении угловых размеров объекта мы можем не различить и сам объект.

3.9.1. Характеристики цвета

Цвет – это качественная субъективная характеристика электромагнитного излучения оптического диапазона.

Если излучение является монохроматическим, то в зависимости от длины волны оно будет восприниматься человеческим глазом как окрашенное в тот или иной цвет – от красного до фиолетового. Цвета монохроматического излучения называются *чистыми спектральными* или *хроматическими цветами*.

Кроме хроматических цветов существуют цвета *ахроматические*. Это белый, черный и все оттенки серого.

Характеристикой, определяющей оттенок чистого спектрального тона, является *цветовой тон*. Основными цветовыми тонами являются красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Однако к определенному цветовому тону может быть отнесен не только чистый спектральный тон, но и любой сходный с ним хроматический, полученный путем смешивания других цветов [14, 17, 18].

Помимо чистых спектральных и чистых пурпурных цветов также существует ряд цветов, которые называются ахроматическими или нейтральными цветами, т. е. цветами, лишенным окраски. Сюда относится черный, белый и лежащие между ними различные оттенки серого. Ощущение этих цветов возникает тогда, когда поток светового излучения, воздействующий на человеческий глаз, слишком слаб (черный цвет) либо наоборот, действует поток максимальной интенсивности (белый цвет). Ощущение серого цвета возникает тогда, когда воздействующий на глаз световой поток возбуждает цветочувствительные анализаторы (колбочки) в равной степени. Причем спектр излучения этого цвета не обязательно должен быть равномерным (с равномерным распределением световой энергии по оси частот), достаточно только, чтобы он вызывал одинаковое возбуждение всех трех видов колбочек, а сам спектр излучения может при этом быть очень неравномерным.

Если смешивать чистый спектральный цвет с белым либо серым, то цвет постепенно начнет терять свою чистоту и переходить, соответственно, либо в белый, либо в серый цвет. Поэтому для характеристики цвета помимо цветового тона используют также характеристику, называемую *насы-*

щенностью или *чистотой цвета*. Насыщенные цвета выглядят глубокими, сочными, менее насыщенные – приглушенными, сероватыми, а полностью ненасыщенные цвета – это попросту оттенки серого. Насыщенность белого или серого цвета равна нулю, насыщенность чистого спектрального цвета – 100 %. В природе чистых спектральных цветов не так уж много, вместо них мы чаще всего наблюдаем цвета в той или иной степени лишенные насыщенности. Считается, что внутри каждого цветового тона человеческий глаз способен различить до 200 ступеней насыщенности.

Характеристики цветового тона и насыщенности часто объединяются вместе и называются *цветностью*, которая может служить качественной характеристикой восприятия цвета. Цветность не зависит от интенсивности излучения.

Два одинаковых цветовых тона могут отличаться друг от друга не только насыщенностью, но и яркостью (интенсивностью их излучений), что при характеристике свойств несамосветящихся объектов принято характеризовать понятием *светлоты* цвета. Если насыщенность цвета можно интерпретировать как соотношение чистого цвета и добавленного к нему белого, то светлоту можно интерпретировать как соотношение чистого цвета и добавленного к нему черного. По мере увеличения интенсивности (яркости) светового излучения цвет принимает различные цветовые оттенки от черного до белого. Светлота связана с насыщенностью цвета, поскольку изменение яркости цвета часто ведет к изменению его насыщенности. Насыщенность характеризует степень визуального отличия хроматического цвета от равного ему по светлоте ахроматического (серого) цвета.

Если цветность может использоваться как качественная характеристика цвета, то светлота может использоваться как количественная оценка цвета.

Три рассмотренные характеристики цвета – цветовой тон, насыщенность и светлота, являются *психофизическими характеристиками хроматического цвета*. Ахроматические цвета характеризуются только светлотой.

Взаимосвязь психофизических характеристик цвета иногда иллюстрируют с помощью трехмерной диаграммы, на которой значение светлоты служит опорной осью, а вдоль этой оси располагаются ахроматические тона от черного до белого. Насыщенность цвета увеличивается по мере удаления от центральной оси по радиусу, а цветовой тон характеризуется угловой координатой, как это показано на рис. 3.17. Теоретически такая диаграмма должна представлять собой цилиндр, но ее чаще изображают в виде перевернутого конуса, вершина которого соответствует точке черного, а основание – максимальному значению светлоты. Это хорошо согласуется с тем фактом, что при малых значениях яркости излучения человек начинает хуже различать цвета, а при минимальном значении яркости не различает их вообще.

Иногда изменение цветового тона соотносят с «*теплотой*» цвета. Так, красные, оранжевые и желтые оттенки, как соответствующие огню и вызы-

вающие соответствующие психофизиологические реакции, называют теплыми тонами, голубые, синие и фиолетовые, как цвет воды и льда – холодными. Следует учесть, что восприятие теплоты цвета зависит как от субъективных психических и физиологических факторов (индивидуальные предпочтения, состояние наблюдателя, адаптация и др.), так и от объективных (наличие цветового фона и др.). Следует отличать физическую характеристику некоторых источников света – цветовую температуру от субъективного ощущения теплоты соответственного цвета. Цвет теплового излучения при повышении температуры проходит по «теплым оттенкам» от красного через желтый к белому, но максимальную цветовую температуру имеет как раз голубой цвет, который в терминах теплоты цвета является холодным.

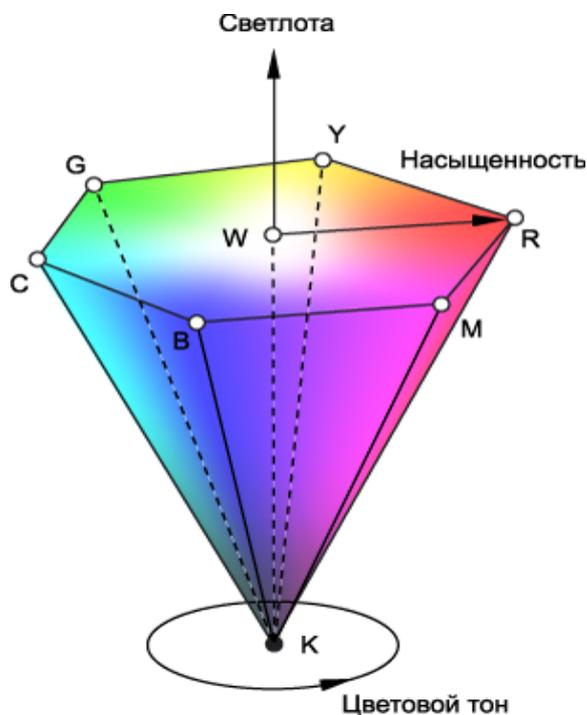


Рис. 3.17. Геометрическая модель расположения цветов в соответствии с цветовым тоном, насыщенностью и светлотой

Если воспользоваться диаграммой на рис. 3.16 и преобразовать ее в плоскую, убрав координату светлоты и оставив либо только цветовой тон, либо цветовой тон и насыщенность (цветность), то получим построение, которое принято именовать **цветовым кругом** (рис. 3.18), представляющее собой окружность, вдоль которой располагаются спектральные цвета, причем между красным и фиолетовым располагается пурпурный. Если слегка преобразовать этот круг и добавить несколько геометрических фигур, то получим другое построение, более удобное для рассуждений о свойствах цветов (рис. 3.19).

Цветовой круг как построение, иллюстрирующее законы смешивания спектральных цветов, впервые был предложен Исааком Ньютоном в 1704 г. Правда, у Ньютона цветовой круг изначально был совсем не таким, как показано на рис. 3.19 – он состоял из семи секторов семи основных спектральных цветов – без пурпурного. Однако то, что смешивание красного и фиолетового цветов дает пурпурный, которого нет в спектре, заметил именно он. Таким образом, множество цветов оказалось не только непрерывным, но и замкнутым. Практически все законы оптического смешивания цветов также были установлены Ньютоном. Например, он установил, что вершины равнобедренного треугольника, вписанного в цветовой круг, однозначно указывают на триады цветов, которые при смешивании дадут белый цвет. Тот же самый эффект будет наблюдаться при вращении треугольника вокруг центра круга – при любом его положении вершины будут указывать, смесь которых будет давать ахроматические оттенки серого или белый цвет.

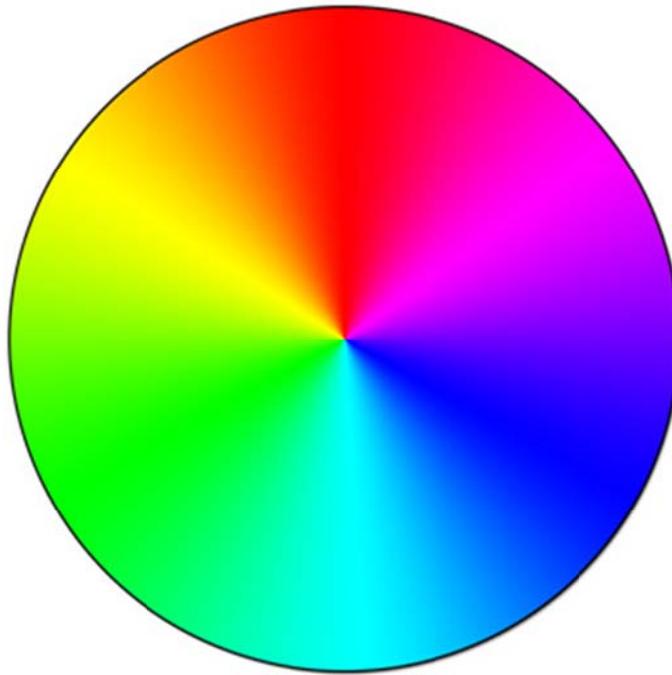


Рис. 3.18. Цветовой круг, полученный из цветового конуса

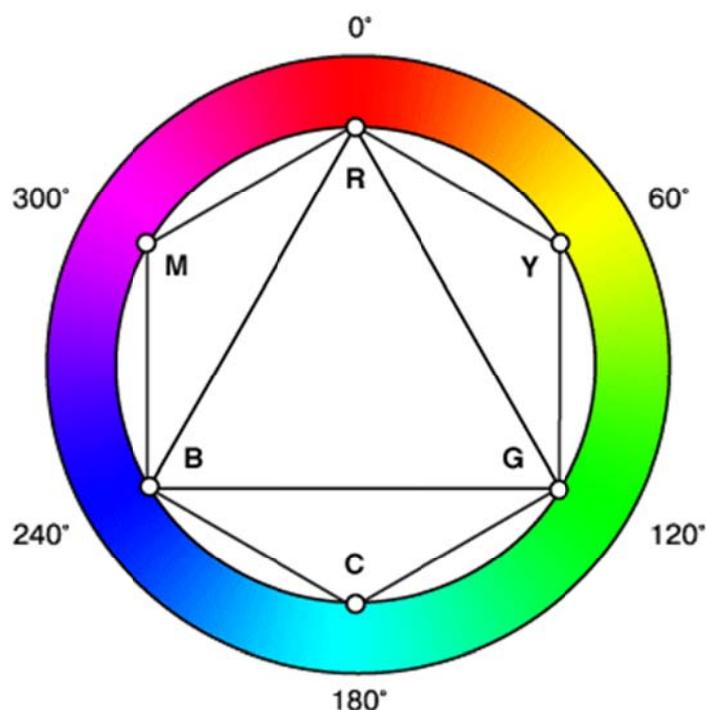


Рис. 3.19. Цветовой круг с геометрическими фигурами

Цвета, находящиеся в цветовом круге друг напротив друга, называются **дополнительными цветами**. Например, красный и голубой, зеленый и пурпурный, синий и желтый и т. д. Эти цветовые пары имеют ряд интересных свойств, которые используются в технологии воспроизведения изображения.

3.9.2. Зависимость цветового тона от освещенности (яркости)

При нормальной дневной освещенности рассеянным светом органами зрения хорошо воспринимаются все цвета спектра. Если освещенность снижается (сумеречное состояние), то красный, зеленый и синий цвета сохраняют свой цветовой тон, а промежуточные между ними изменяются в направлении сближения с основными. Так, оранжевый становится краснее, желтый приближается к оранжевому, голубой и фиолетовый синеют. Желто-зеленые и зелено-голубые утрачивают свои оттенки и приближаются к спектральному зеленому. Если яркость световых потоков снижается до глубоких сумерек, то различаются только три основных цвета – красный, зеленый и синий. Последним в сгущающихся сумерках исчезает синий цвет, превращаясь в белесый, а красный превращается в черный [19]. Изменение цветов при уменьшении их яркости называют **явлением Бецольда – Брюкке**.

При сильном увеличении яркости происходит сдвиг цветового тона всех спектральных цветов к голубому и желтому. Этот феномен называется **явлением Эбнея**.

3.9.3. Законы смешивания цветов

Смесь нескольких световых потоков может быть аддитивной и субтрактивной [20].

Аддитивная (от английского глагола *add* – складывать) смесь образуется, когда на одну поверхность проецируются два или несколько световых лучей разного цвета. Аддитивная смесь красного и зеленого дает желтый цвет, красного и синего – пурпурный, синего и зеленого – голубой, а смесь всех трех этих цветов – белый (рис. 3.20).

Аддитивное смешение может быть **одновременным**, когда световые потоки воздействуют на глаз одновременно, и **последовательным**, когда световые потоки воздействуют на глаз поочередно с помощью быстро вращающегося диска с цветными светофильтрами.

Субтрактивная (от английского глагола *subtract* – вычитать) смесь образуется, когда из светового потока (обычно – белого света) устраняется часть его спектральных составляющих (например, с помощью светофильтра). Для того чтобы субтрактивным способом получить, например, красный цвет нужно на пути белого излучения поместить желтый и пурпурный светофильтры. Они будут поглощать (вычитать) соответственно синие и зеленые излучения (рис. 3.21).

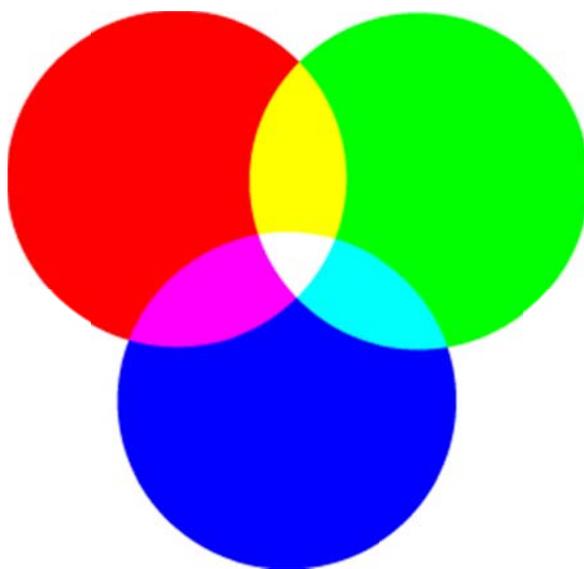


Рис. 3.20. Аддитивное смешивание цветов

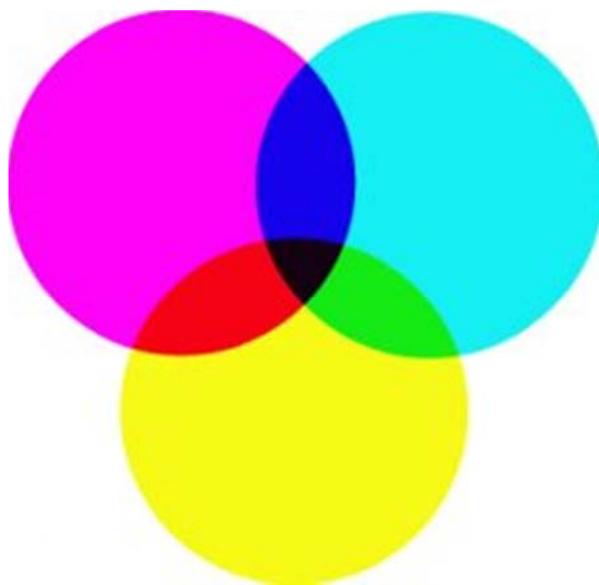
Рис. 3.21. Субтрактивный синтез

Субтрактивный синтез используется в тех случаях, когда складывать потоки трех излучателей для образования нужного цвета технологически невозможно – в фотографии, пленочном аналоговом кинематографе, полиграфии, текстильной и лакокрасочной промышленности.

В фотографии световой поток проходит через три красочных слоя фотоматериала, сформированных желтым, пурпурным и голубым красителем. В полиграфии световой поток проходит через слой желтой, пурпурной и голубой краски и, отражаясь от поверхности бумаги, проходит в обратном направлении, формируя цветное изображение. В результате прохождения потока белого света через слой красителя происходит избирательное поглощение части спектра излучения и световой поток приобретает ту или иную окраску.

Основные цвета аддитивного синтеза – синий, зеленый и красный, основные цвета субтрактивного синтеза – желтый, пурпурный и голубой образуют пары дополнительных цветов.

Еще одним способом получения различных оттенков цвета является



пространственное смешивание. Для его получения поверхность покрывается мелкими цветовыми пятнами. В силу того, что разрешающая способность человеческого зрения ограничена, такая поверхность начиная с некоторого расстояния будет казаться равномерно окрашенной. Таким приемом иногда пользуется живописцы (например, Поль Сезанн) вместо смешивания нескольких красок на палитре. Этот же способ лежит в основе получения цветного изображения в телевидении, электронном кино, компьютерных технологиях, полиграфии, на экране ЖКИ-проектора и прочих устройствах, где для синтеза цвета используют излучения трех основных цветов – крас-

ного, зеленого и синего. Пространственным смешиванием цветов иногда пользуются и при разрисовывании тканей. Еще в 1935 г. советские ученые Б. М. Теплов и С. П. Яковлев доказали, что результат подобного смешивания ничем не отличается от результата, полученного другими способами.

Следует заметить, что вместо красного, зеленого и синего, в принципе можно взять какие угодно цвета, лежащие у вершин равнобедренного треугольника внутри цветового круга. Выбор красного, зеленого и синего, объясняется наличием в человеческом органе зрения рецепторов, чувствительных именно к этим цветам. Поэтому образование цвета с помощью трех излучателей синего, зеленого и красного цветов можно рассматривать как направленное возбуждение трех цветовых рецепторов глаза, в результате чего получается возможность вызывать у зрителя ощущение того или иного цвета [22, 23].

Третьим способом смешивания цветов является *бинокулярный*. Если на один глаз воздействовать световым потоком одного цвета, а на другой – какого-то иного цвета, то в зрительном аппарате сформируется ощущение цвета их аддитивной смеси. К такому выводу пришел еще в 1876 г. русский ученый А. В. Ходин.

3.9.4. Классификация цветов

Простейшей системой классификации цветов являются семь их названий, соответствующих основным цветам видимого спектра и известная всем формула про охотника и фазана: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый.

В сравнении с этой простейшей классификацией цветов термины, которыми привыкли оперировать художники, непосвященному человеку покажутся намного более сложными и, естественно, многочисленными. Если взять наборы красок, продающихся в магазинах для художников, то среди названий красок обнаружатся такие, как охра, кобальт, киноварь и т. д., которые у живописцев являются общепринятыми терминами, и которые у любого профессионального художника будут ассоциироваться с определенными цветами, хотя, безусловно, в том, какие именно цвета подразумевает под тем или иным наименованием конкретный человек будут неизбежно существовать различия.

Для точного определения и классификации цветов были разработаны специальные цветовые атласы, где приводятся и подробно описываются до сотни различных цветов и оттенков. Такие атласы широко используются в полиграфии, текстильной промышленности и архитектуре [24].

Вместе с тем были разработаны многочисленные более простые системы классификации цветов по их названию. Однако такие системы нельзя назвать научно достоверными, поскольку под одним и тем же названием разные наблюдатели могут понимать разные цвета. Хотя в качестве допол-

нения к уже имеющимся системам классификации они вполне могут использоваться для решения каких-то прикладных задач.

Предпринимались и многочисленные попытки разработки строгих в научном отношении систем именования цветов. Так Мэрц и Пауль создали цветовой словарь, содержащий почти 4000 названий, из которых около 36 представлены собственными названиями, 300 представляют собой сложные слова, состоящие из названия цвета и соответствующего прилагательного. В 1931 г. Межведомственный комитет по цвету (ISCC) США по заказу Фармакологического комитета разработал систему именованных цветов для описания цвета окрашенных поверхностей. Эта система охватывала 319 обозначений, в основу которых были положены названия цветов, предложенных в начале 20 столетия американским художником Альбертом Манселлом. Сюда входили названия основных тонов – «красный» (R), «желтый» (Y), «зеленый» (G), «синий» (B), «пурпурный» (P), «оливковый» (Ol), «коричневый» (Br) и «розовый» (Pk), – к которым для обозначения дополнительных цветов добавлялись прилагательные «слабый», «сильный», «светлый», «темный», а также термины «бледный», «блестящий», «глубокий», «сумеречный», «живой».

Все остальные системы, разработанные другими исследователями, строятся по сходному способу и обычно насчитывают до нескольких сотен названий. В качестве примера такой системы, широко используемой в настоящее время в интернет-приложениях, можно привести систему из 216 цветов, рекомендованных интернет-консорциумом W3C (World Wide Web Consortium) в качестве стандартных цветов, которые можно использовать для спецификации цвета в рамках языка HTML.

3.9.5. Хроматическая (цветовая) адаптация

Хроматическая адаптация – это снижение чувствительности глаза к цвету при более или менее длительном наблюдении его.

Проведем опыт: возьмем какую-либо ярко окрашенную цветную карточку и закроем половину ее белой бумагой. Посмотрев на нее в течение полминуты, откроем вторую половину и сравним цвет двух полей: того, которое мы наблюдали сравнительно долго и того, которое только что увидели. Та часть карточки, которая была закрыта, окажется значительно ярче открытой. Таким образом, в результате хроматической адаптации происходит искажение цвета, напоминающее эффект запыления.

Объясняется хроматическая адаптация тем, что чувствительность цветковых рецепторов (колбочек), так же как и чувствительность черно-белых рецепторов (палочек), имеет свойство уменьшаться при воздействии ярких (насыщенных) цветов и увеличиваться при воздействии цветов слабой насыщенности. При этом изменение чувствительности колбочек каждого из трех типов (красных, зеленых и синих) происходит в первом приближении независимо от уровня чувствительности колбочек других двух типов. Од-

нако если воздействовать на глаз ярким световым потоком только одного из цветов, то чувствительность рецепторов данного типа будет уменьшаться, а чувствительность рецепторов двух других типов, наоборот, увеличиваться. Такое свойство цветового зрения вызывает изменение восприятия реальной цветовой палитры и цветового контраста соседних цветовых полей.

Проделав вышеописанный эксперимент с различными цветами, можно убедиться в существовании определенных закономерностей. Например, в следующем:

- насыщенность всех цветов определенно снижается;
- светлые цвета темнеют, а темные – светлеют;
- теплые цвета становятся более холодными, а холодные – теплыми.

К примеру, яркий синий цвет снижает чувствительность «синих» рецепторов и увеличивает чувствительность «красных» и «зеленых». Поэтому бледно-синий элемент на фоне ярко-синего будет казаться желтовато-зеленоватым, т. е. приобретет оттенок дополнительный к синему (рис. 3.22).

Если цвет фиксируется наблюдателем слишком долго, наступает *хроматическое утомление*, в результате которого первоначальное цветовое ощущение может измениться до неузнаваемости.

Утомляющее действие цвета зависит от следующих факторов:

- *цветового тона* (желтые – наименее утомляющие, красные, оранжевые и фиолетовые – наиболее);
- *чистоты* (чем чище цвет, тем утомительнее);
- *яркости* (приглушенные и зачерненные цвета – менее утомляющие, чем яркие).

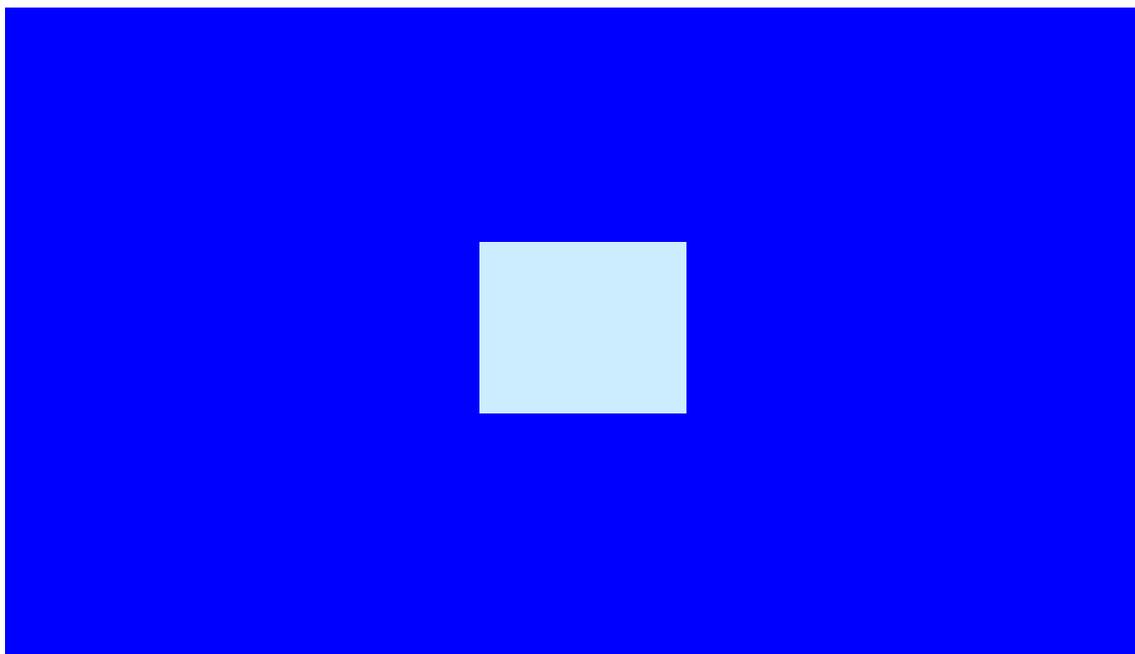


Рис. 3.22. Бледно-синий элемент на фоне ярко-синего

Утомляющее действие цвета связано также с эмоционально-психическими реакциями человека, т. е. его предпочтениями, культурным уровнем, темпераментом и прочими факторами.

3.9.6. Цветовая индукция

Цветовая индукция – это изменение характеристик (координат) цвета под влиянием наблюдения другого цвета.

Различают два принципиально разных типа индукции – отрицательную и положительную.

При **отрицательной индукции** характеристики двух взаимно индуцирующих цветов изменяются в противоположном направлении. Например, если сопоставить темное и светлое пятно, то темное покажется еще темнее, а светлое – еще светлее, чем они есть на самом деле.

При **положительной индукции** характеристики цветов сближаются, происходит их «подравнивание», нивелирование. Тот или иной тип индукции имеет место в зависимости от меры различия характеристик цвета. Если различие достаточно заметно, глаз стремится еще увеличить его (отрицательная индукция); если различие малозаметно, глаз уничтожает эту небольшую разницу (положительная индукция).

Часто в научной и методической литературе вместо термина «индукция» используют термин «контраст». Это не совсем корректно, но ближе к предмету зрительного восприятия. Слово «индукция» все-таки ассоциируется больше с электротехникой. **Контраст** – это мера индукции. Различают следующие виды контраста: по яркости, по насыщенности и по цветовому тону.

Контраст по яркости K_B – это отношение разности яркостей пятен $B_{\max} - B_{\min}$ к большей яркости B_{\max} :

$$K_B = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max}}.$$

При $K_B > 0,5$ – большой контраст; при $0,2 < K_B < 0,5$ – средний контраст; при $K_B < 0,2$ – малый контраст.

Контраст по насыщенности K_M – это отношение разности величин насыщенности двух пятен $M_{\max} - M_{\min}$ к большей величине M_{\max} :

$$K_M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max}}.$$

При $K_M > 0,5$ – большой контраст; при $0,2 < K_M < 0,5$ – средний контраст; при $K_M < 0,2$ – малый контраст.

Контраст по цветовому тону K_T определяется величиной углового расстояния между цветами в цветовом круге.

При $110^\circ < K_T < 180^\circ$ – большой контраст; при $70^\circ < K_T < 110^\circ$ – средний контраст; при $K_T < 70^\circ$ – малый контраст.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ИНДУКЦИИ

1. Изменение цвета пятна под влиянием фона:

– если к цвету пятна добавить цвет фона, на синем фоне серый желтеет (рис. 3.23), а на желтом синееет (рис. 3.24);

– если из цвета пятна вычесть цвет фона, то цвет охры на красном фоне кажется холоднее (рис. 3.25), а хромовая зелень на синем становится желто-зеленой (3.26).

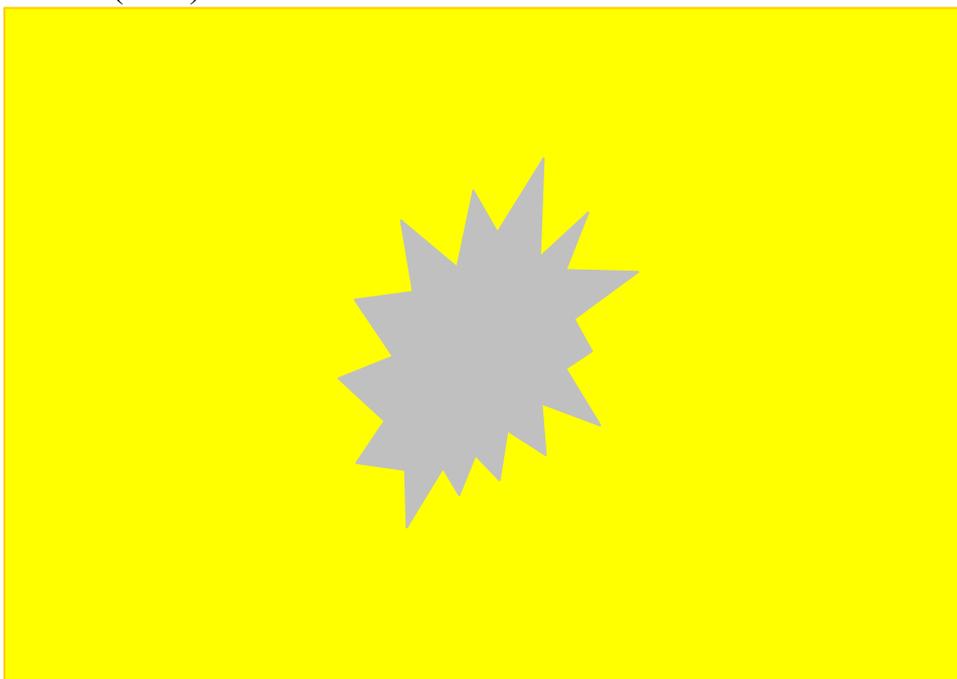


Рис. 3.23. Серое пятно на синем фоне желтеет
Рис. 3.24. Серое пятно на желтом фоне синееет



Рис. 3.25. Цвет охры на красном фоне кажется холоднее

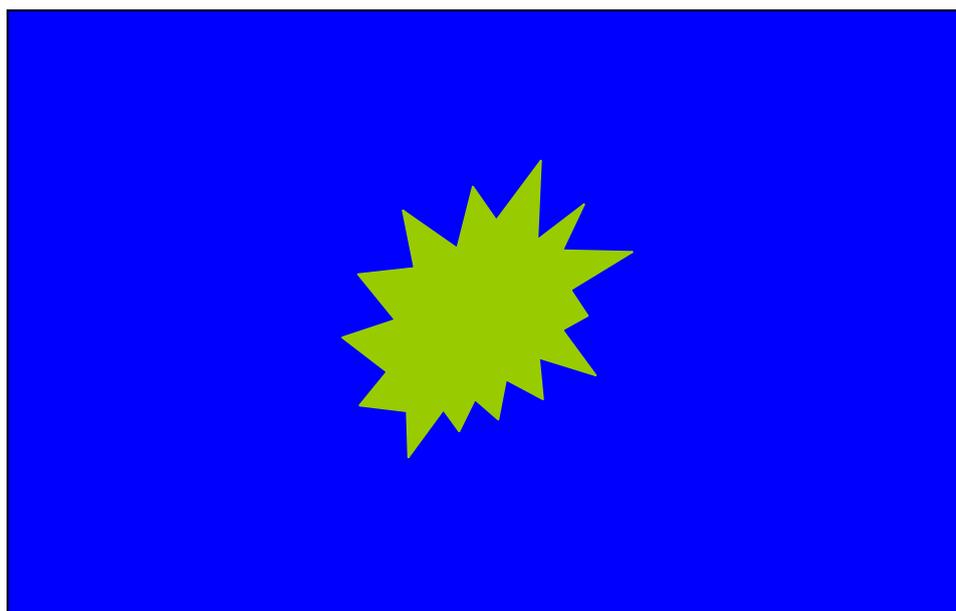


Рис. 3.26. Хромовая зелень на синем фоне кажется желто-зеленой

2. Факторы, влияющие на меру индукции (контраст):

- чем ближе пятна, тем больше контраст;
- четкий контур пятна увеличивает яркостный контраст и уменьшает хроматический;
- уменьшение яркостного контраста увеличивает хроматический, и наоборот;
- чем насыщеннее пятно, тем сильнее его индукционное воздействие;
- пятно с развитым (сложным) контуром окрашивается по индукции сильнее, чем пятно той же площади с минимальным (простым) контуром.

3. Способы ослабления или устранения индукционного окрашивания:

- подмешивание цвета фона в цвет пятна;
- обведение пятна четким темным контуром;
- обобщение силуэта пятен, сокращение их периметра;
- взаимное удаление пятен в пространстве.

Цветовой индукцией можно воспользоваться для повышения яркости красок, если располагать предмет на фоне цвета, дополнительного к его собственному. Вследствие *одновременного цветового контраста* любой цвет в окружении дополнительного к нему цвета кажется более насыщенным. Этим приемом иногда пользуются при оформлении витрин – товар определенного цвета выкладывают на витрину, отделанную материалом дополнительного цвета.

Еще об одном проявлении цветового контраста пишет Гёте: «Трава, растущая во дворе, вымощенном серым известняком, кажется бесконечно прекрасного зеленого цвета, когда вечерние облака бросают красноватый, едва заметный отсвет на камни». Дополнительный цвет зари – зеленый. Этот контрастный зеленый цвет, смешиваясь с естественным зеленым цветом травы, еще более подчеркивает его глубину и дает так поразивший Гёте «бесконечно прекрасный зеленый цвет».

Кроме одновременного, существует еще и *последовательный цветовой контраст*. Если долго смотреть на небольшой ярко окрашенный круг, к примеру – желтого цвета, а потом быстро перевести взгляд на белую поверхность, то в течение некоторого времени можно будет наблюдать точно такой же круг, но окрашенный в цвет, дополнительный к желтому, т. е. синий. И наоборот – если долго смотреть на синий кружок, то на белой бумаге можно увидеть желтый. Если смотреть на красный кружок, то на белом фоне возникнет зеленое пятно.

В любом случае, если после долгого наблюдения какой-то окрашенной поверхности перевести взгляд на другую окрашенную поверхность, то ее цвет некоторое время будет казаться измененным. Это также является проявлением последовательного цветового контраста.

3.9.7. Метамерия

Если на глаз воздействует излучение определенного спектрального состава и интенсивности, то оно создает у человека ощущение только одного определенного цвета. Однако такое же ощущение цвета может быть получено и при другом спектральном составе воздействующего излучения [25–27].

Известно, что белый свет можно получить, смешивая все цвета радуги (подобные опыты проводил еще Ньютон). Однако белый цвет также можно получить, если смешать всего два определенным образом подобранных излучения. Два излучения, которые при смешивании в определенной пропорции дают белый цвет, являются взаимно дополнительными, т. е. располагаются в цветовом круге напротив друг друга (подразд. 3.9.1). Вращая диаметр круга вокруг его центра, можно получить бесконечное множество таких дополнительных цветов. Какой-нибудь другой цвет можно получить при смешивании двух, трех или большего числа излучений. Например, ощущение оранжевого цвета можно получить как при воздействии на орга-

ны зрения монохроматическим излучением с длиной волны 600 нм, так и при воздействии смеси красного излучения с длиной волны 700 нм и зеленого с длиной волны 500 нм. То же самое относится не только к счетному количеству излучений определенной длины волны, но и к излучениям со сплошным спектром: распределение интенсивности в них может быть различным, а воспринимаемый цвет одним и тем же.

Как уже говорилось, спектральная чувствительность человеческого зрения неравномерна по всей области спектра, поэтому при зрительном восприятии могут возникать явления, когда два разных цвета, имеющих разный спектральный состав излучения, будут, тем не менее, казаться одинаковыми. Два различных по спектральному составу излучения, создающих ощущение одного и того же цвета, называются *метамерической парой*, а само описанное явление – *метамерией*. Метамерия часто наблюдается, когда та или иная окрашенная поверхность рассматривается при использовании разных источников освещения, свет которых, взаимодействуя с поверхностью, изменяет спектр ее цвета.

Поскольку цветное зрение является трехстимульным, то спектральные характеристики цвета выражаются в значениях всего трех параметров. Если сравниваемые потоки излучения с разным спектральным составом производят на колбочки одинаковое действие, цвета воспринимаются как одинаковые. Например, белая ткань при дневном освещении может выглядеть чисто белой, но при искусственном освещении оттенок ее может измениться. Этим часто пользуются в театре, используя светлые драпировки и подсвечивая их затем цветными фонарями. И наоборот, два предмета, имеющие разные спектры отражения, казалось бы, должны иметь разный цвет. Однако при определенном освещении они могут восприниматься как одинаково окрашенные, если благодаря освещению возникает равнозначное возбуждение трех цветочувствительных рецепторов глаза. Если же попытаться воспроизвести цвет этих предметов на фотопленке, использующей отличный от зрительного аппарата человека механизм отображения цветовых характеристик изображения, то эти два предмета, скорее всего, будут иметь различную окраску. Другими словами, если, скажем, три цветных образца, имеющие разный спектр отражения, кажутся нам одинаковыми при освещении их дневным светом, то это еще вовсе не значит, что их цвет и в самом деле один и тот же. Если сфотографировать эти образцы на фотопленку, спектральная чувствительность которой отлична от спектральной чувствительности зрительного аппарата человека, то может оказаться, что все они довольно сильно отличаются по цвету. То же самое может наблюдаться при изменении характера освещения.

На использовании явления метамерии основаны современные технологии воспроизведения цветного изображения в полиграфии, фотографии, кино, телевидении, живописи. Благодаря этому явлению из смеси разных по характеристикам спектрального поглощения наборов пигментов (или разных по спектру излучения наборов люминофоров в случае с телевизио-

рами и мониторами) могут быть составлены цвета, воспринимаемые глазом как одинаковые.

3.10. Дифференциальные пороги зрения

3.10.1. Дифференциальные пороги по яркости

Дифференциальные пороги по яркости или *контрастная чувствительность зрения* определяет степень воспринимаемого различия между яркостями двух предметов (объекта и фона), разделенных в пространстве, т. е. позволяет ответить на вопрос, насколько объект должен отличаться по яркости от фона, чтобы его можно было увидеть. Контрастная чувствительность зависит от яркости фона, площади распознаваемого объекта и от длительности его наблюдения [4, 7].

Дифференциальный порог яркости, как уже отмечалось в разделе 1, составляет примерно 0,01 для средней части диапазона яркостей (примерно от 7 до 700 кд/м²). На краях этого диапазона порог возрастает – чем ближе к краю диапазона, тем порог выше.

Диапазон воспринимаемой глазом яркости с учетом ночного и дневного зрения принято считать равным примерно 10^8 (от 0,0001 кд/м² в сумерки до слепящей яркости лампы накаливания 10^4 кд/м², которую еще можно выдерживать). Если еще вспомнить о том, что нижний порог светового ощущения соответствует всего нескольким квантам световой энергии, то значение диапазона яркостей получится еще больше. Однако благодаря механизму адаптации, глаз всегда сужает диапазон освещенности на сетчатке, а нелинейная (логарифмическая) зависимость зрительного ощущения значительно уменьшает этот диапазон. Поэтому реальное значение одновременно различаемого диапазона яркостей не так уж и велико. Глаз адаптируется к некоторой средней яркости, преобладающей в поле зрения. Все поверхности, яркость которых выше среднего значения, выглядят при этом светлыми, а те поверхности, яркость которых ниже средней – темными. Когда мы входим с освещенной дневным светом улицы в хорошо затемненную комнату, то вначале мы просто ничего там не увидим – требуется определенное время, чтобы зрительный аппарат начал различать расположенные в ней предметы, т. е. необходим более или менее продолжительный период адаптации от средней яркости улицы к средней яркости помещения. Хотя освещенность там намного выше нижней границы воспринимаемой человеческим зрением яркости.

Для каждого значения средней яркости существует некоторое ее значение, создающее ощущение черного, и значение, создающее ощущение белого. И разница между ними не столь уж велика. Изображение на киноэкране или на рисунках обладает диапазоном яркостей (контрастом), как правило, не более 50...100. В эпоху черно-белого телевидения значение

контраста изображения всего в 30...40 считалось вполне достаточным. Современные же телевизионные и компьютерные мониторы способны обеспечить контраст изображения, намного превышающий возможности человеческого зрения.

3.10.2. Дифференциальные пороги по цвету

Дифференциальные пороги по цвету определяют способность зрения воспринимать различие между оттенками цвета.

Принято считать, что человеческий глаз способен различить до 150 различных цветовых тонов чистых спектральных цветов. К этому числу следует прибавить еще 30 оттенков пурпурного цвета, которые отсутствуют в спектре, но могут быть получены путем смешения синего и красного спектральных излучений. Общее же число различимых цветов – около 10 млн.

Дифференциальная чувствительность по цвету, также как и контрастная чувствительность, зависит от яркости, площади сравниваемых объектов и от длительности наблюдения.

3.10.3. Временные дифференциальные пороги.

Инерция зрения

Человеческий глаз как приемник света обладает определенной инерционностью. Промежуток времени между воздействием света на сетчатку и возникновением соответствующего зрительного ощущения называется ***постоянной времени зрительного ощущения***. Она колеблется в пределах приблизительно 0,1–0,2 с, что совсем немного, учитывая, что глазу приходится одновременно воспринимать довольно значительный объем информации.

Инерция зрения проявляется как при возникновении объекта наблюдения, так и при его исчезновении [4, 7, 12, 31].

Если перед глазом, адаптированным к темноте, внезапно появится ярко освещенная поверхность, то зрительное ощущение от нее возникает примерно через 0,1 с. При меньшей разности яркостей поля адаптации и возникающей светлой поверхности это время увеличивается до 0,2–0,3 с, при большей оно сокращается. При этом сила возникающего зрительного ощущения вначале резко нарастает – вспышка кажется ярче, чем в действительности, но затем сравнительно быстро «приходит» нормальное ощущение яркости. К этой инерционности зрения прибавляется еще и инерционность нервной системы, в которой сигнал от органов зрения и ответный сигнал двигательным органам распространяется хотя и с большой, но не с бесконечной скоростью. С момента поступления сигнала средней силы до момента ответного движения человека проходит в среднем 0,19 с. У разных людей это время колеблется в пределах от 0,15 до 0,225 с. Если человек

воспринимает сигнал одним глазом, то он реагирует на него медленнее. «Отставание» равно примерно 0,015 с.

Инерционность зрения проявляется и в том, что глаз способен удерживать в течение долей секунды зрительное впечатление, хотя видимый предмет уже исчез из поля зрения. Об этом свойстве человеческого зрения знали еще в древности. Клавдий Птолемей (II в. н. э.) в своей «Оптике» говорил, что если круг с окрашенным сектором привести во вращение, то весь круг покажется нам окрашенным.

Инерция зрения – это запаздывание нашей зрительной реакции относительно реально движущегося предмета, а также эффект сглаживания неравномерности движения.

Инерция зрения – это явление, которое, несмотря на активное практическое использование в кинематографе и телевидении, на сегодняшний день содержит в себе много загадок и неясностей. Легко заметить, что начало или прекращение какого-либо зрительного воздействия сопряжено с некоторым отставанием его восприятия по времени. Предмет физически уже перед нами, а его отображение в нашем сознании все еще только формируется. Инерция зрения несколько напоминает инерцию физических тел, когда тело не может мгновенно приобретать нужную скорость и не может мгновенно останавливаться. Но в отношении зрительной инерции дело обстоит несколько сложнее, поскольку инерция зрения – это процесс не только физиологический, но и имеющий прямое отношение к нашему личному опыту, что уже выходит за рамки простой физиологии, пусть даже физиологии высшей нервной деятельности [3, 7, 8].

Зрительную инерцию невозможно объяснить только запаздыванием физиологической реакции сетчатки глаза на световое раздражение, хотя в простейшем случае реакции на вспышку это может соответствовать такому объяснению. Известно, что при действии прерывистого светового раздражителя возникает ощущение мельканий. Из-за инерционных свойств зрения эти мелькания при определенной частоте сливаются в ровный немигающий свет. Частота, при которой мелькания исчезают, называется **критической частотой слияния** мельканий. Знание критической частоты мельканий позволяет использовать прерывистый свет в практических целях.

В том случае, когда необходимо использовать мелькания света в качестве какого-либо сигнала, оптимальной частотой следования вспышек является частота 3–10 Гц – так, чтобы промежутки между ними были заведомо больше постоянной времени зрительного ощущения (0,1–0,2 с). В противном случае из-за инерционных свойств зрения эти мелькания сольются в ровный немигающий свет.

На свойстве нашего глаза в течении 0,1 секунды «видеть» то, что уже исчезло основан кинематограф: при смене 24-х кадров в секунду и при перекрытии окна проектора в момент смены кадра особым экраном (обтюратором) наш глаз не замечает этой смены и воспринимает не движение ленты, а

более медленное движение фигур, проектируемых на экран. Телевидение также использует закон зрительного впечатления. В этом случае на люминесцирующем экране электронно-лучевой трубки приемника электронный луч, с очень большой скоростью, как бы «рисует» изображение видимой нами картины, двигаясь по горизонтальным строкам и от строки к строке смещаясь по вертикали. Вследствие большой скорости перемещения электронного луча от верхней части экрана строчками до нижней его границы, мы не замечаем этого движения, а воспринимаем изображение в целом [28, 29].

Что касается восприятия предметных образов, то одним только запаздыванием физиологической реакции сетчатки глаза на световое раздражение его механизм не объяснить. Инерция в восприятии образов, наблюдаемых нами предметов, может быть объяснена с учетом особенностей функционирования человеческого сознания, а не только исходя из запаздывания реакции сетчатки.

Зрительное восприятие – это не просто фиксация оптических изображений на сетчатой оболочке, а и одновременная работа мозговых центров, деятельность центральной нервной системы и использование предшествующего опыта. При рассматривании объекта взгляд непрерывно перемещается по его поверхности, причем движения эти отнюдь не беспорядочны. Вначале зрительный аппарат выделяет наиболее характерные точки объекта, чтобы отнести его к определенной категории. Образы этих точек поступают в сознание, после чего мозг принимает решение – достаточно ли этой информации, чтобы определить категорию объекта. Если достаточно, то обследование прекращается и взгляд отводится. Инерция восприятия в этом случае минимальная. Если же информации недостаточно или требуется определить категорию объекта более точно, то мозг отдает команду (или серию команд) глазным мышцам, направляя взгляд на другие информативные точки объекта. Информация с сетчатки снова поступит в кору головного мозга, где она будет проанализирована и по результатам анализа будет принято следующее решение. Такой обмен информацией будет продолжаться до тех пор, пока мозг не получит исчерпывающей информации об объекте. Чем сложнее объект и/или чем больше мозгу требуется информации о нем, тем больше потребуется времени на восприятие этого объекта и, следовательно, тем большей будет инерция зрения. Разумеется, задержка зрительной реакции в значительной степени зависит от предшествующего опыта наблюдателя.

Например, летящую высоко в небе птицу отличить от самолета сможет даже ребенок. Но вот определить, что это за птица или что это за самолет ребенку вряд ли под силу – сколько бы он не разглядывал летящий объект. Нет у него для этого соответствующего жизненного опыта. Опытному орнитологу для опознания птицы достаточно одного взгляда и он сможет не только назвать эту птицу, но и отнести ее к определенному роду, виду, подвиду, рассказать, где она гнездится, чем питается и многое другое. У него есть необходимый для этого предшествующий опыт. А вот рассказать что-то про самолет он вряд ли сможет – нет опыта. Зато опытный летчик или авиаконструктор одного с орнитологом возраста одним беглым

взглядом определит и тип самолета, и к какому классу летательных аппаратов он относится (пассажирский – военный, бомбардировщик, истребитель или заправщик), и сможет даже назвать его тактико-технические данные, поскольку обладает соответствующими знаниями и предшествующим опытом. Хотя с определением вида летящей птицы у него могут возникнуть сложности – не тот у него профессиональный багаж.

В приведенных примерах показаны полярные случаи: профессионал в одной области является дилетантом в другой и наоборот. Большинство же людей имеют в той или иной степени ограниченные познания и ограниченный опыт в различных сферах, поэтому зрительная реакция на различные объекты (инерция зрительного восприятия) у них может очень сильно отличаться.

3.11. Динамика зрения

В предыдущем разделе уже отмечалось, что когда человек рассматривает, не поворачивая головы, неподвижные предметы или изображения, расположенные в одной фронтальной плоскости, то взгляд его чаще всего не остается неподвижным, а перемещается по поверхности изображения, быстро меняя точки фиксации.

Многочисленные исследования показывают, что кажущаяся простота и непосредственность зрительного восприятия реального предмета или его изображения чаще всего является мнимой – конечное узнавание предметов, и особенно изображений, является результатом сложной рецепторной деятельности, которая начинается с выделения того или иного признака объекта в качестве наиболее существенного, т. е. создания определенной «рецепторной гипотезы», а затем следует поиск других признаков, в результате которого из ряда альтернатив выбирается наиболее подходящее значение образа. При этом существенные признаки выступают на первый план и объединяются, а побочные, несущественные признаки отбрасываются (рис. 3.27).



а)



б)

Рис. 3.27. Движения глаз при рассматривании изображения
а) портрет, предъявленный испытуемому для рассмотрения;
б) запись движений глаз при рассмотрении этого портрета

Один из виднейших специалистов в мире по психофизике зрения – советский ученый Альфред Лукьянович Ярбус в середине прошлого века разработал точную методику определения последовательных перемещений глаза при рассматривании различных предметов. В результате опытов установлено, что 97 % времени глаза остаются неподвижными, но когда они начинают «ощупывать» объект, то перемещаются очень быстро [30]. Время, затраченное на каждый акт фиксации, составляет 0,2–0,3 с, и в течение одной минуты глаза могут менять точки фиксации до 120 раз. При этом продолжительность скачков (во время рассматривания одного и того же объекта) у всех людей совпадает с очень большой точностью: $\pm 0,005$ с. Продолжительность скачка не зависит от воли наблюдателя – он может пытаться совершить его быстрее или медленнее, но фактическое время от этого не изменится. Продолжительность скачка зависит только от величины угла, на который он совершается. Скачки обоих глаз совершаются синхронно.

Когда человек плавно обводит взглядом какую-нибудь неподвижную фигуру (например, круг), ему кажется, что глаза движутся непрерывно. В действительности же и в этом случае движение глаз скачкообразно, причем величина скачков очень мала.

Скачкообразным движением глаз можно объяснить иллюзию присутствия движения на некоторых неподвижных картинках (рис. 3.28 и 3.29). Но если сосредоточиться и остановить взгляд на какой-то точке такой картинки, то движение прекращается.

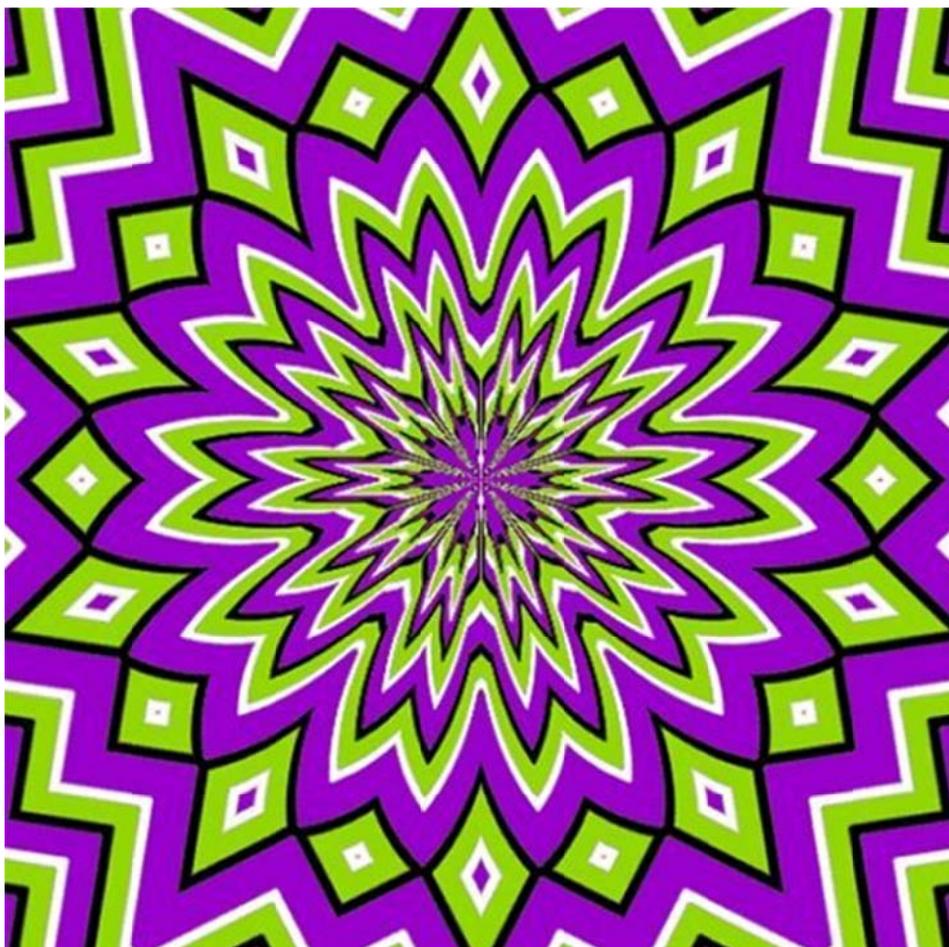


Рис. 3.28. Эта неподвижная картинка, если на нее смотреть, производит впечатление волнообразных движений, хотя их на самом деле нет. Это обман зрения!

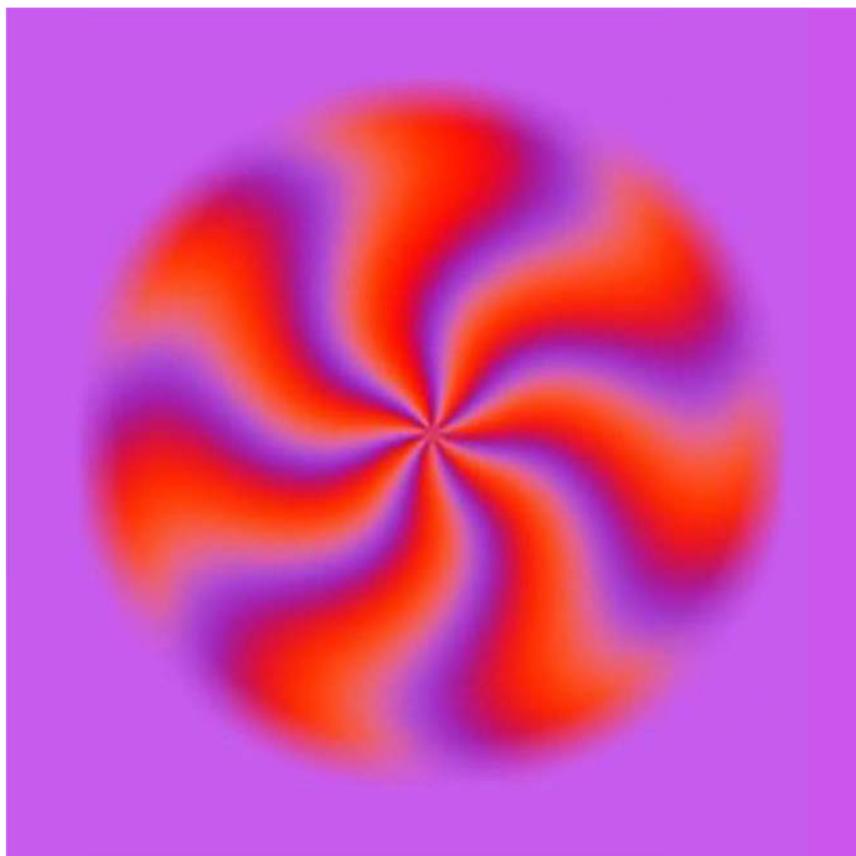


Рис. 3.29. Это тоже обман зрения! Здесь все неподвижно

При чтении глаз читающего останавливается не на каждой букве, а только на одной из четырех-шести, но, несмотря на это, мы понимаем смысл прочитанного. Более того, последние исследования показали, что не имеет даже значения, в каком порядке расположены буквы внутри слова – главное, чтобы первая и последняя были на месте. Остальные буквы могут следовать в полном беспорядке и все равно текст будет читаться без затруднений. Это доказывает, что мы не читаем каждую букву по отдельности, а воспринимаем все слово целиком. Очевидно, при этом используется предыдущий опыт чтения написанных слов, образы которых хранятся в памяти. Именно поэтому дети, едва научившиеся читать, читают очень медленно – в их памяти еще не накопилось достаточное количество образов различных слов.

При наблюдении движущегося объекта процесс фиксации происходит при скачкообразном перемещении взгляда с той же результирующей угловой скоростью, с которой движется и объект наблюдения. При этом изображение объекта на сетчатке остается относительно неподвижным.

Исследования А. Л. Ярбуса позволили установить некоторые закономерности в обследовании глазом объекта наблюдения. Первая из этих закономерностей состоит в том, что максимумы внимания приходятся на «смысловые центры» в изображении. В частности, таким центром всегда

будет человек или животное, даже если картина изображает природу или технику, а человек или животное присутствуют там просто в качестве сопутствующего, не основного элемента.

Узнав об этом факте, создатели рекламных объявлений в своих творениях сразу же стали к месту и не к месту вставлять на первый план красивых девушек. Хотя зрители при контрольных опросах очень много и подробно рассказывали о девушках, но не могли вспомнить ни предмета рекламы, ни названия фирмы, выпустившей этот предмет.

Также было установлено, что лица людей значат для зрителя больше, чем фигуры, а фигуры – больше, чем детали обстановки. Разглядывая портрет, мы обращаем внимание, прежде всего, на глаза («зеркало души»), губы, нос. Эти же элементы – глаза, нос, пасть – наиболее интересны, и когда мы смотрим на животное. А. Л. Ярбус объяснял это тем, что «глаза и губы человека – наиболее подвижные и выразительные элементы лица».

Опыты английских психологов показали, что притягивают наш взгляд и любые два кружка, поставленные горизонтально рядом, особенно если в них выделены внутри еще другие, меньшие кружки («зрачки»). Можно предположить, что эта автоматическая реакция внимания на глаза унаследована нами от животных предков. У многих животных прямой, направленный взгляд служит сигналом угрозы. Недаром некоторые бабочки выработали в процессе эволюции концентрические круги на крыльях. Птица воспринимает эти круги как глаза готовящегося напасть на нее хищника и не решается трогать такую бабочку.

3.12. Иллюзии зрения

Большинство людей, не знакомых с физиологией зрения, считают глаз похожим на фотоаппарат или видеокамеру, оптическая система которой проецирует изображение объекта на поверхность светочувствительной сетчатки. Мозг «смотрит» на эту картинку и «видит» то, что нас окружает. Однако все далеко не так просто. Процесс зрительного восприятия чрезвычайно сложен и состоит из множества различных этапов, и на каждом из этих этапов возникают характерные для него искажения и ошибки [7, 8, 31].

Во-первых, изображение на сетчатке перевернуто. Во-вторых, из-за наличия абберации, астигматизма и прочих несовершенств оптических элементов глаза, картинка на сетчатке расфокусирована или размазана. В-третьих, глаз совершает постоянные движения: скачки при рассматривании изображений и при зрительном поиске, мелкие произвольные колебания при фиксации на объекте, относительно медленные, плавные перемещения при слежении за движущимся объектом, из-за чего изображение на сетчатке

постоянно перемещается. В-четвертых, приблизительно 15 раз в минуту глаз моргает, а это значит, что изображение через каждые 5–6 секунд исчезает с сетчатки. Поскольку человек обладает бинокулярным зрением, то он фактически видит два размытых, дергающихся и периодически исчезающих изображения. Следовательно, возникает проблема совмещения информации, поступающей через правый и левый глаз.

Однако мозг человека обрабатывает всю поступающую к нему информацию и вносит в нее необходимые коррективы. Процессы обработки носят неосознанный характер и реализуются в многоуровневой автономной корректировке всех видов искажений. При этом устраняются искажения, обусловленные наличием слепого пятна, а также сферической и хроматической аберрации, проводится коррекция цветопередачи, формируется стереоскопическое изображение и т. п.

Но бывают случаи, когда подсознательной обработки информации оказывается недостаточно, или же она по каким-то причинам ведется в ошибочном направлении. Тогда возникают различного рода оптические иллюзии.

Слово «иллюзия» в переводе с латыни означает «ошибка, заблуждение». Видимо, иллюзия как феномен, присущий системе зрительного восприятия человека и выражающийся в искаженном, неадекватном отображении свойств воспринимаемого объекта, был хорошо известен еще в древности – по крайней мере, во времена Древнего Рима. Изучением причин возникновения иллюзий занимались и занимаются сегодня очень многие ученые из разных стран, но окончательной ясности здесь так до сих пор и нет. Наиболее интересным представляется вопрос о том, как на основе двумерного изображения на сетчатке формируется восприятие трехмерности видимого мира. Этим вопросом интересуются не только психологи, но и художники. Возможно, зрительная система использует приобретенные в процессе накопления жизненного опыта (а может быть и в процессе эволюции) знания о том, угловые размеры объекта по мере его удаления от наблюдателя пропорционально уменьшаются, и использует их как признак глубины и удаленности. Например, если параллельные линии сходятся в какой-то точке, то это рассматривается сознанием как признак перспективы, и объекты, располагающиеся ближе к точке схождения этих линий, рассматриваются как бóльшие по размеру по отношению к точно таким же по величине предметам, но расположенным ближе к месту, где эти линии расходятся (рис. 3.30).

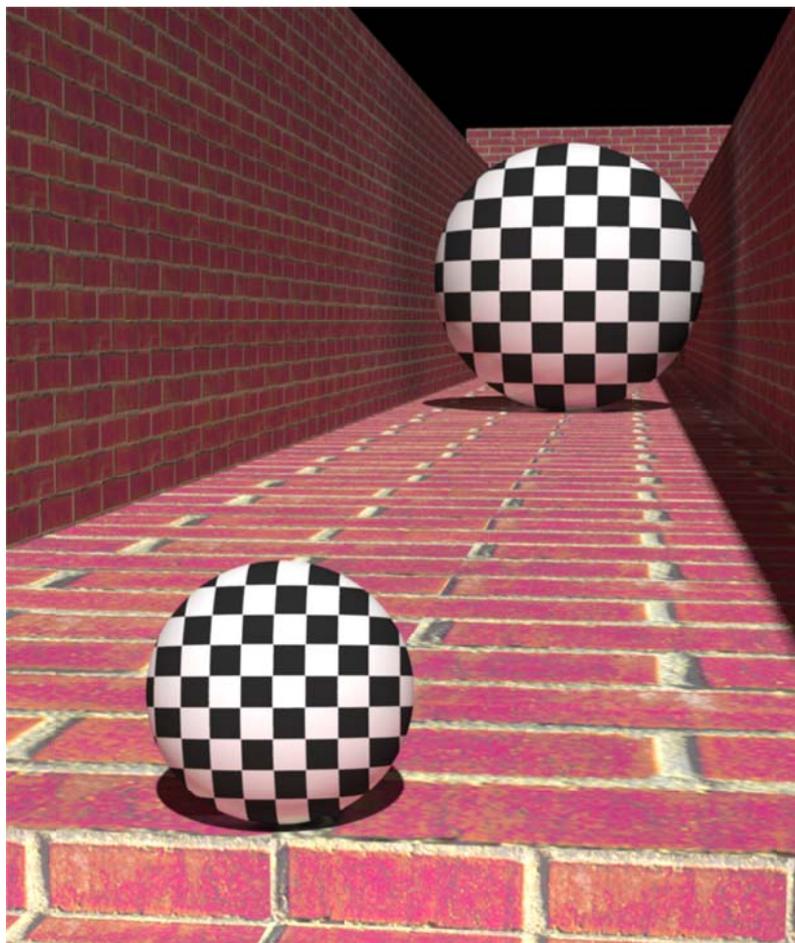


Рис. 3.30. Шары в нише.
Верхний шар кажется больше нижнего за счет иллюзии перспективы

3.12.1. Целое и часть

Очень многие ошибочные зрительные впечатления обусловлены тем, что мы воспринимаем рассматриваемые фигуры и их части не отдельно, а сопоставляя их размеры с размерами фигур, находящихся рядом, с некоторым фоном или обстановкой. Большинство зрительных иллюзий, встречающихся в практике, относятся именно к этому их виду. Все они могут быть разделены на несколько групп.

Во-первых, сравнивая две фигуры, из которых одна действительно меньше другой, мы ошибочно воспринимаем все части меньшей фигуры меньшими, а все части большей – большими (раз целое больше, значит, больше и его части). Это хорошо видно, скажем, на примере одной из самых известных иллюзий с линейкой (рис. 3.31), которая называется *иллюзией Мюллера-Лайера*: левый отрезок на ней кажется длиннее правого, хотя на самом деле они равны. Впечатление это настолько сильное, что, согласно экспериментальным данным, испытуемые утверждают, что длина левого отрезка на 25–30 % превышает длину правого. Иллюзия эта объясняется ошибкой мозга в обобщении полученной им зрительной информации.

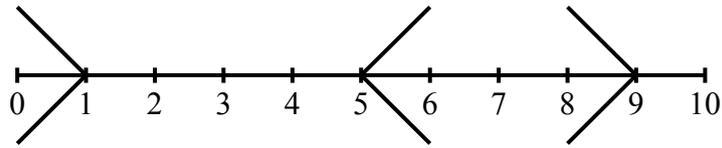


Рис. 3.31. Иллюзия Мюллера-Лайера

На двух других рисунках (рис. 3.32) правые фигуры больше левых (фигуры в целом), однако отмеченные буквами части этих фигур равны отмеченным буквами частям левых фигур, хотя они и кажутся значительно крупнее. Это происходит потому, что свойства фигуры мы ошибочно переносим на ее части.

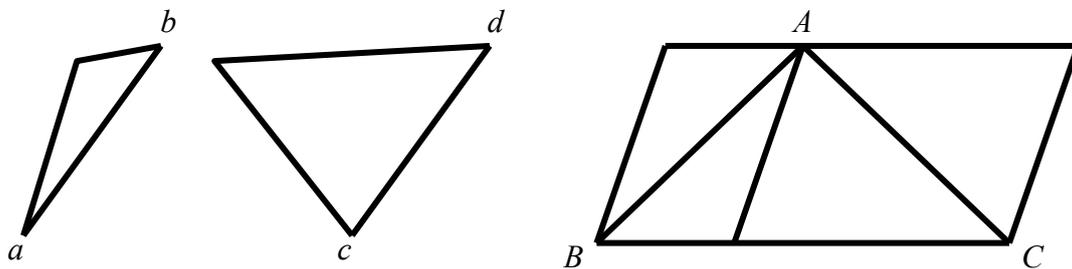


Рис. 3.32. Иллюзии разных размеров: отрезок cd кажется длиннее отрезка ab , хотя они одинаковы; AB также равен AC , хотя кажется меньшим

Во-вторых, при восприятии фигур в целом и отдельных их частей (линии, углы, отдельные детали) зрительные иллюзии могут иметь место вследствие так называемого общепсихологического закона контраста, т. е. обстановки, окружения этих частей и их взаимосвязи с другими частями фигуры. Вот пример: на рис. 3.33 слева круг, примыкающий ближе к сторонам острого угла, кажется больше, чем другой, тогда как их размеры одинаковы. На правом рисунке внутренний круг слева кажется больше правого внутреннего круга. Это объясняется не контрастом яркости или цветовым контрастом, а психологическими особенностями восприятия фигуры и фона.

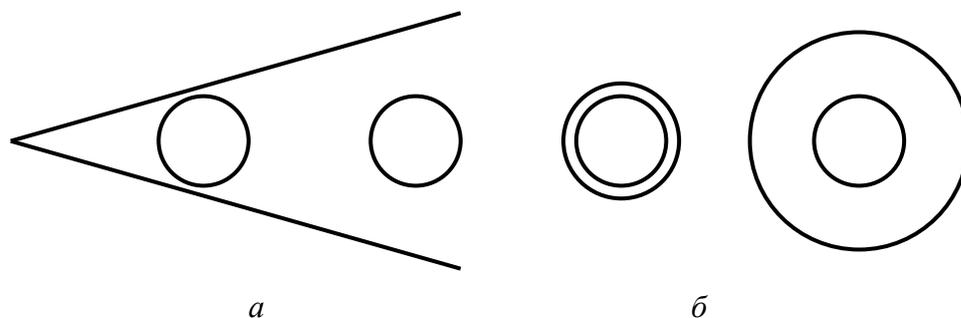


Рис. 3.33. Иллюзии разных размеров
 a – левый круг кажется больше правого, хотя они одинаковы;
 b – правый внутренний круг кажется меньше левого внутреннего круга

На рис. 3.34 отрезок высоты треугольника, примыкающий к его основанию, кажется больше отрезка, примыкающего к вершине, хотя они совершенно одинаковы.



Рис. 3.34. Деление вертикального отрезка пополам

В-третьих, известны иллюзии, причина которых кроется в уподоблении (ассимиляции) одной части фигуры другой. На рис. 3.35 прямая касательная ко всем кружкам разных радиусов кажется кривой, так как мы невольно уподобляем ее верхней криволинейной границе самих кружков. (*иллюзия С. Томпсона*).

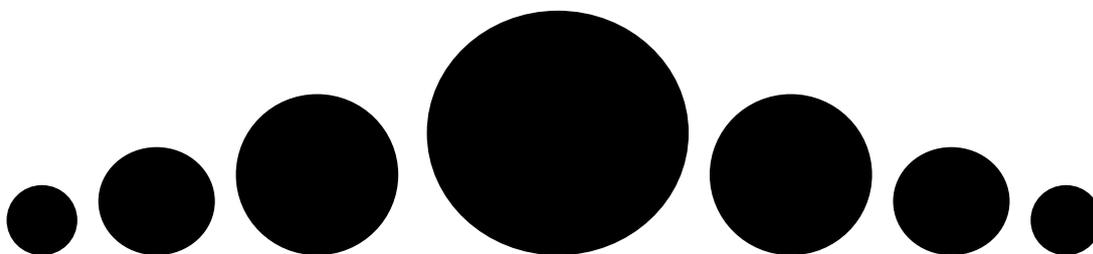


Рис. 3.35. Иллюзии кривизны

На рис. 3.36 из-за спиральной штриховки серого фона белые, прерванные местами, линии кажутся спиралями. На самом деле они представляют собой концентрические окружности. В этом легко убедиться с помощью циркуля или карандаша, если вести им по какой-либо окружности – карандаш, описав круг, вернется в ту самую точку, откуда началось движение.

В-четвертых, следует указать еще на одну группу иллюзий, связанных со зрительным восприятием целого и части, причина которых кроется в том, что зрительный аппарат иногда неспособен выделить часть из целого из-за сложности обстановки. Например, в беспорядке линий не сразу можно выделить (распознать) какую-то определенную фигуру (рис. 3.37).

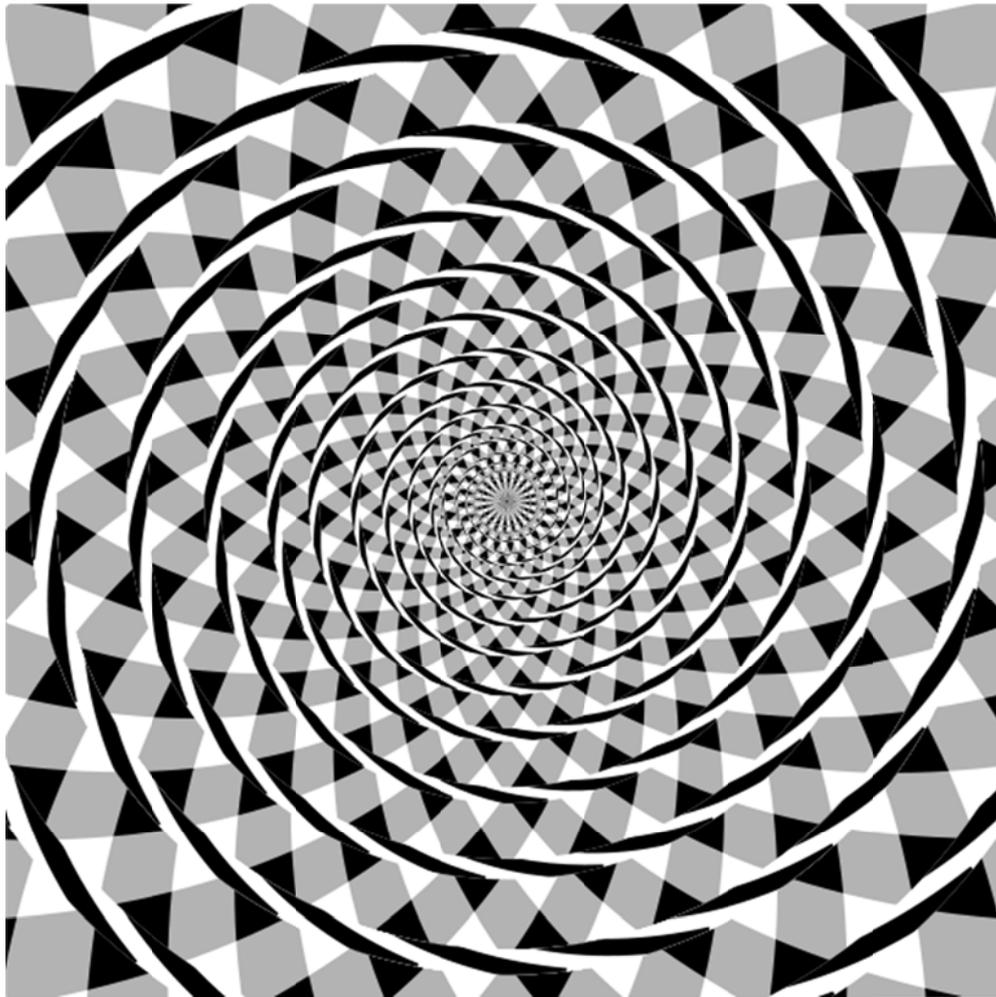


Рис. 3.36. Иллюзия спиральности концентрических кругов

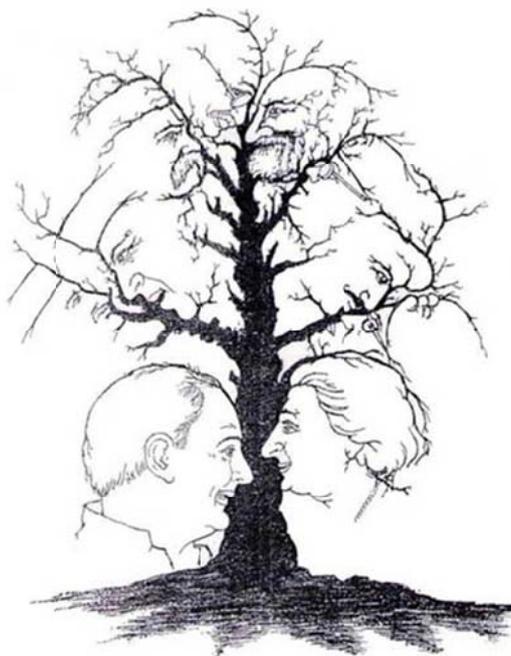


Рис. 3.37. Выделение предметов из множества линий

3.12.2. Переоценка вертикальных линий

В силу исторически накопленного опыта, с одной стороны, и благодаря горизонтальному расположению линии, соединяющей глаза человека, с другой стороны, человек точнее определяет на глаз горизонтальные расстояния, чем высоту предметов. Как выяснилось, острота зрения в горизонтальной плоскости выше, чем в вертикальной. Сравнить длину параллельных горизонтальных линий «на глаз» человек может с точностью до 1 %, в то время как для вертикальных линий такая точность недостижима. Выяснилось также, что поворот глаза в вертикальной плоскости требует большего физического напряжения глазных мышц, чем аналогичный поворот в горизонтальной плоскости. Возможно, степень мышечного напряжения служит мозгу в качестве критерия оценки пройденного при рассмотрении пути, и по этой причине вертикальные расстояния кажутся нам больше равных им горизонтальных. Поэтому большинству людей свойственно преувеличивать вертикальные протяженности в сравнении с горизонтальными, и это приводит к иллюзиям зрения (рис. 3.38–3.40).

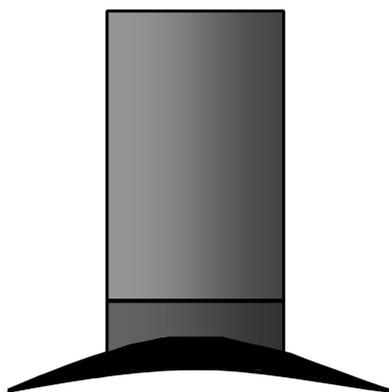


Рис. 3.38. Высота шляпы-цилиндра кажется больше ширины полей, хотя они равны

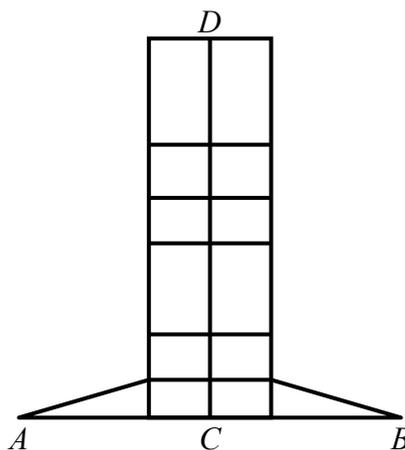


Рис. 3.39. Высота фигуры (CD) кажется больше ее основания (AB), хотя $AB = CD$

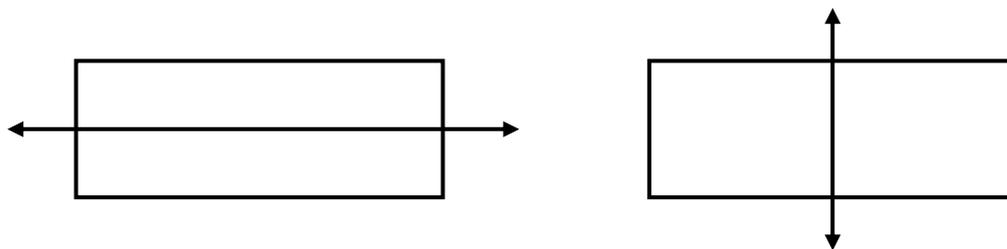


Рис. 3.40. Правый прямоугольник кажется короче и шире левого, хотя оба они совершенно одинаковы

Если предложить нескольким людям начертить вертикальную и горизонтальную линии одинаковой длины, то в большинстве случаев начерченные вертикальные линии будут короче горизонтальных. При делении на глаз вертикальной линии пополам обычно середина оказывается слишком высоко.

Вертикальные параллельные линии при значительной их длине обычно кажутся в верхней части слегка расходящимися, а горизонтальные – сходящимися.

К рассматриваемой группе иллюзий близко примыкают иллюзии заполненного пространства. Заполненное пространство, по которому скользит глаз, удлиняется. Так, например, на море все расстояния кажутся меньшими, так как беспредельный простор моря является пространством неподделенным. И наоборот, здания, украшенные фигурами и орнаментами, кажутся нам больше своей действительной величины.

На рисунке 3.41 нам кажется, что левая фигура уже и выше (взгляд скользит по вертикали) правой фигуры. На самом деле обе эти фигуры – правильные заштрихованные квадраты с равными сторонами. Значит, заполненное пространство нам всегда кажется шире незаполненного и по горизонтали и по вертикали? Однако это не всегда так, и многое в этом зависит от направления, по которому скользит наш взгляд, стремясь воспринять фигуру.

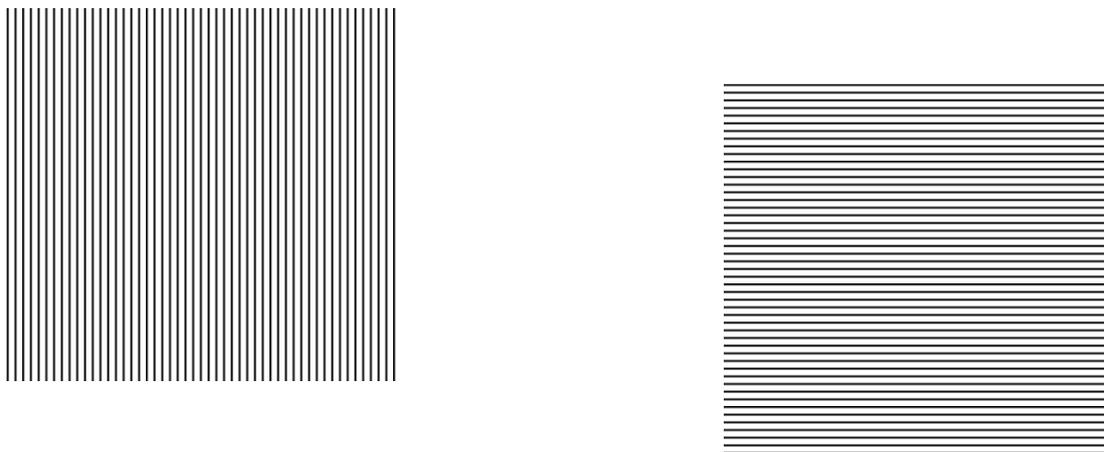


Рис. 3.41. Иллюзии форм

3.12.3. *Фигура и фон*

Простейшее формирование восприятия заключается в разделении зрительных ощущений наблюдателя на фигуру, т. е. рассматриваемый им объект, и фон, на котором эта фигура расположена. Выделение фигуры из фона и удержание объекта восприятия обеспечивается за счет работы психофизиологических механизмов. Клетки головного мозга, получающие визуальную информацию, при взгляде на фигуру реагируют более активно, чем при взгляде на фон. Фигура – это объект более яркий и содержательный,

поэтому он кажется «выступающим» вперед. Фон кажется лежащим дальше от нас – за фигурой. Человек, прежде всего, обращает внимание и рассматривает именно фигуру, а не фон. Однако существуют рисунки, которые не позволяют сознанию однозначно определить, что именно является фоном, а что фигурой. При рассматривании подобных рисунков, фигура и фон на них могут меняться местами (рис. 3.42). Такие неоднозначные фигуры называются *обратимыми*.

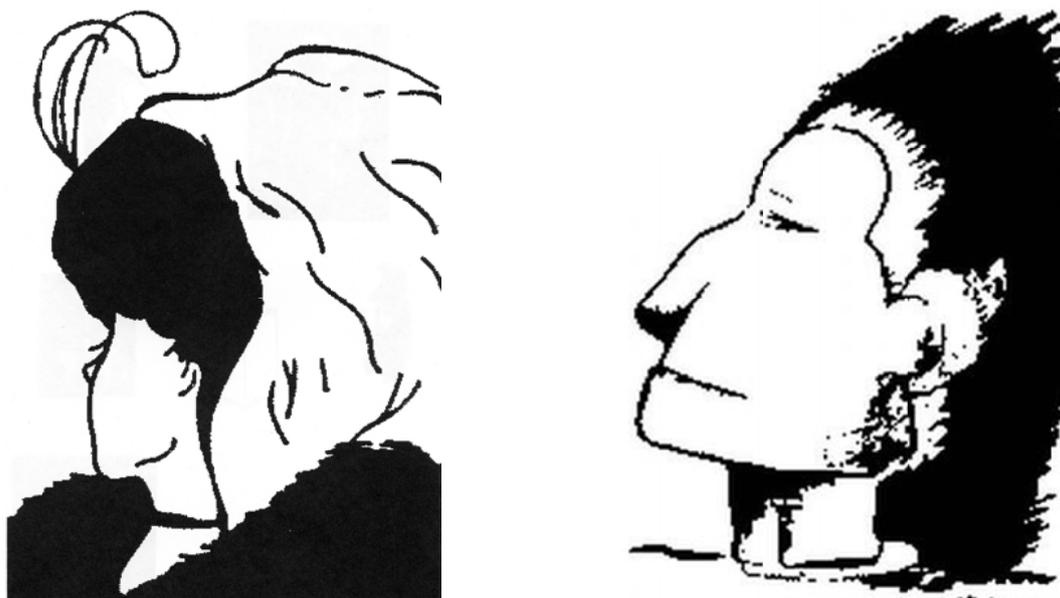


Рис. 3.42. На левом рисунке можно увидеть и древнюю старуху, и молодую женщину, на правом – профиль индейца и маленькую девочку в шубке

В большинстве случаев при восприятии фигуры и фона мы склонны воспринимать как фигуру пятна более яркие и, как правило, имеющие меньшую площадь в сравнении с фоном. Чем больше контраст яркости, тем лучше заметен объект и тем отчетливее видны его контур и форма. На рис. 3.43 большинство людей видят сначала вазу, а затем два профиля.



Рис. 3.43. Обратимые фигуры – ваза и профили

Объект, воспринимаемый как фигура, в нашем сознании ограничен замыкающимися линиями, даже если объективно они отсутствуют. На рис. 3.44 в качестве фигуры воспринимается белый треугольник и глаз очень точно способен определить его границы. Хотя никакого треугольника там может и не быть. С таким же основанием на рисунке могут быть изображены три черных окружности с удаленными (или закрашенными белым) секторами и три угла. Но, определенным образом расположенные, они могут создавать иллюзию присутствия в центре белого треугольника. Фигура всегда как бы выдвинута из фона и ярче. Фон, в свою очередь, простирается за фигурой.

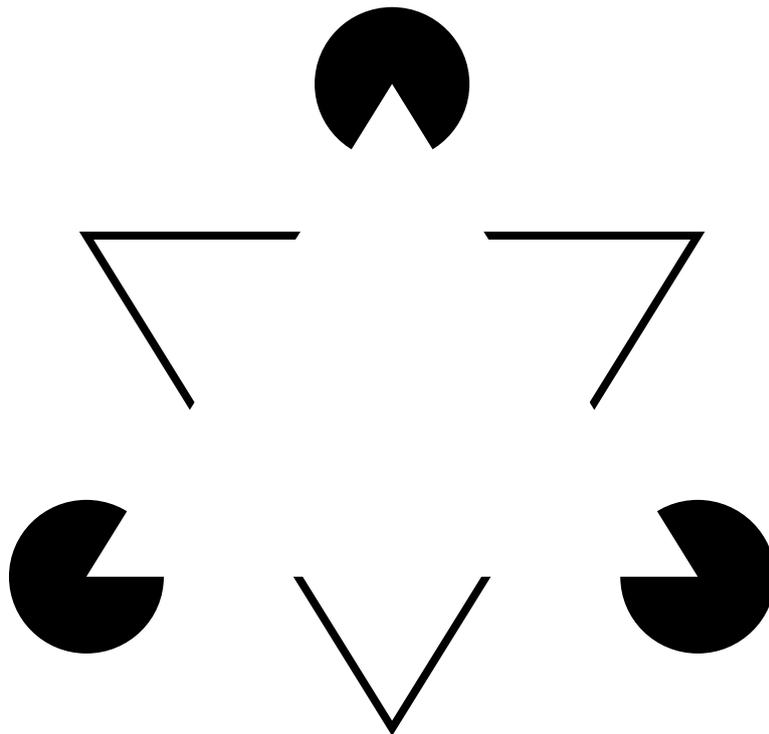


Рис. 3.44. Белый треугольник в центре рисунка может быть как вполне реальным, так и виртуальным

3.12.4. Взаимовлияние линий и фигур

Иногда изменение направления линий и искажение формы фигуры происходит из-за того, что взгляд следит за направлением других линий, находящихся в поле зрения. На рис. 3.45, а правый верхний угол квадрата кажется не прямым, а острым. На рис. 3.45, б стороны квадрата кажутся вогнутыми вовнутрь.

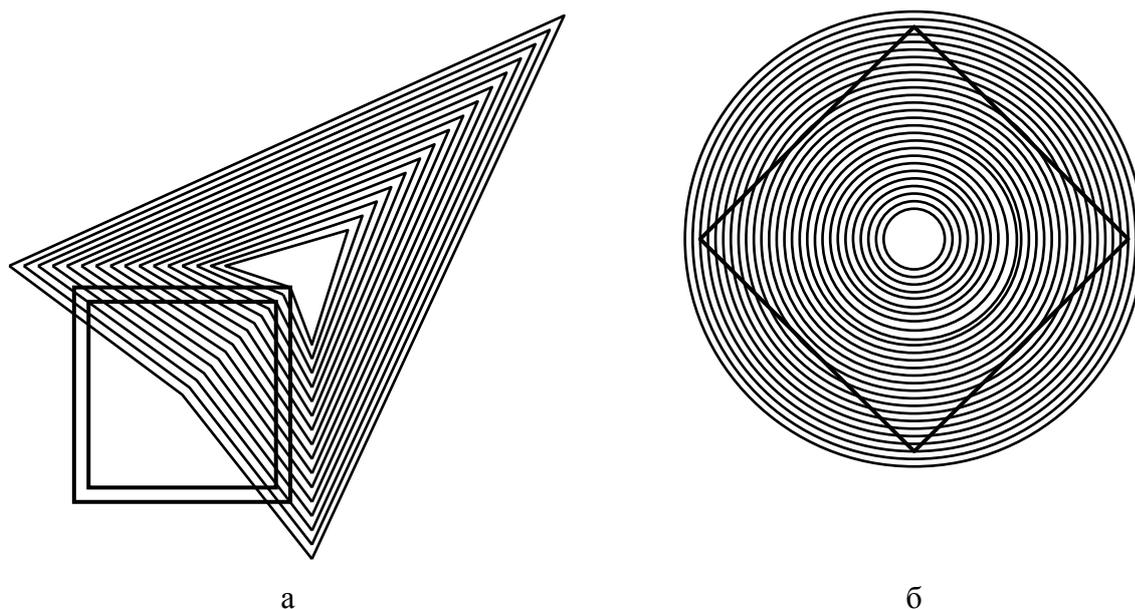


Рис. 3.45. Иллюзии искажения формы фигур

3.12.5. Иллюзии при движении объекта

Существует иллюзия, которую можно назвать спиралью Плато, а если проще – эффект волчка. Если диск со спиралью (волчок) вращать по часовой стрелке, то после продолжительного фиксирования ее глазом у нас возникает впечатление стягивания всех ветвей спирали к центру; при вращении спирали в обратном направлении мы видим расхождение спиралей в обратном от центра к периферии. Если после длительного рассматривания движущейся спирали взглянуть на неподвижные предметы, мы увидим их движение в обратном направлении. Так, например, если после длительного наблюдения за местностью из окна движущегося поезда или за водой из окна движущегося парохода мы переведем взгляд на неподвижные предметы внутри поезда или парохода, то нам покажется, что они тоже движутся, но в обратном направлении. Эти иллюзии связаны с последовательными движущимися образами.

3.12.6. Ведущий глаз

Глаза человека функционально несколько различаются, поэтому выделяют ведущий и ведомый глаз. Если проколоть в непрозрачном экране (листе бумаги) маленькое отверстие и посмотреть через него на отдаленный предмет (экран нужно держать при этом на расстоянии 20–30 см от глаз), а затем, не смещая голову, поочередно закрывать правый и левый глаз, то тот глаз, для которого изображение не сместится, будет ведущим, а тот, для которого сместится в сторону – ведомый.

Определение ведущего глаза важно для охотников, спортсменов-стрелков, видеооператоров и представителей других профессий.

3.13. Психология восприятия цвета

Влияние цвета на эмоциональное состояние человека уже давно является предметом пристального внимания психологов. Сегодня вполне научно доказано, что различные цвета и их сочетания могут вызвать у человека ощущения радости, грусти, беспокойства, меланхолии. Более того, разные оттенки одного и того же цвета, могут создавать различный эмоциональный настрой. Одни цвета способны вызвать у человека прилив энергии и работоспособности, а другие, наоборот, способствуют расслаблению и погружению в состояние покоя. А представители эзотерики даже считают, что если человек *окружит* себя нужными цветами, то может «притянуть» в свою жизнь желаемые события.

На первый взгляд связь цвета и человеческих эмоций может показаться надуманной – в отдельных случаях это действительно так, но если взглянуть повнимательней в историю развития человеческого общества, то окажется, что все не так просто, как кажется и связь цвета с психикой человека корнями уходит в глубокую древность, в те далекие времена, когда человек только формировался как существо разумное и социальное [32–35, 44].

3.13.1. Цветовой символизм

Известно, что в наскальной живописи первобытных народов чаще всего встречаются три цвета – белый, черный и красный, что позволяет предположить, что эти цвета играли особую роль в жизни древних людей. Специальные исследования показали, что преобладание таких красок в обиходе человека нельзя объяснить только доступностью их получения из природных материалов. К тому же использование этих трех цветов в качестве основных до сих пор продолжает существовать в ритуальных обрядах тех народов Африки, Южной Америки, Австралии и Океании, которые почти не затронула цивилизация и которые все еще продолжают вести первобытный родо-племенной образ жизни.

Цветовой символизм всегда был самым тесным образом связан, прежде всего, с магией и религией. Цвет рассматривался как атрибут магических, сакральных, божественных сил, а в определенных случаях и сам олицетворял собой божество. Известное всем деление магии на «белую» и «черную» само по себе свидетельствует о важнейшей роли цвета в магических ритуалах. Роль цвета в религиозном сознании людей, особенно древних, трудно переоценить. Как показывают археологические, исторические и этнографические исследования, мистические представления человека и цветовая символика были тесно взаимосвязаны.

Английский этнограф В. Тэрнер (1983), занимавшийся исследованиями «цветовой классификации» у первобытных народов, наблюдая за обря-

дами и ритуалами африканского племени Ндембу, а также беседуя с членами племени, установил и подробно описал символические значения трех «основных» цветов в жизни первобытного человека [36, 37].

Подтвердилось уже существовавшее мнение о том, что *белый* цвет для всех первобытных народов – как древности, так и современности – означает благо, добро, развитие и счастливую мирную жизнь.

Белая краска использовалась первобытными людьми в тех магических ритуалах, в которых они апеллировали к силам добра и жизни или защищались от воздействия злых духов и божеств, например, в ритуалах, посвященных рождению, инициации, браку и смерти. Белый цвет привлекал добрых богов и отпугивал злых. Добрым богам и духам люди стремились приносить в жертву животных именно белого цвета, либо окрашенных в белое.

Белый цвет использовался и как защитное средство от сглаза и порчи. Злые силы не могли нанести вред человеку, животному или жилищу, если они были помечены белой краской, либо имели амулеты белого цвета.

В. Тэрнер полагал, что корни символики белого (впрочем, как и других основных цветов) следует искать в психобиологическом опыте человека. Главное и исходное значение белого цвета – дневной солнечный свет, а день – это время суток, когда человек наиболее активен и деятелен, когда он воспринимает окружающее ясно и отчетливо. Поэтому белый цвет – это божество, благо, жизнь, полнота бытия. Белый цвет выглядит своего рода эталоном чистоты – в противоположность грязи и хаосу, и поэтому невольно наводит на мысли о чистоте всего, что с ним связано, в том числе о чистоте мыслей и поведения. Исследователи указывают на несомненную связь белого цвета с двумя важнейшими жидкостями (тканями) человеческого организма – семенной и молочной, которые считались древними людьми священными. Эти жидкости лежат в основе жизни человека, являясь теми началами, от которых первобытный человек вел отсчет своего существования и поэтому их цвет получил значения блага, жизни и здоровья.

Вторым важнейшим цветом в жизни первобытных людей был *черный* цвет. Если белый означал свет, то черный – мрак, если белый – жизнь, то черный – смерть, белый – чистота и порядок, черный – грязь и хаос. Тем самым, черный – антипод белого. Оптический контраст белого и черного наиболее сильный. Также контрастны и символические значения этих двух цветов.

В жизни первобытных людей черный выражал все самое негативное: зло, страдание, болезни, смерть, неудачи, тьму, ночь и т. д. Злые силы, враждебные человеку, в представлениях древних ассоциировались с черным цветом. «Черная магия» в отличие от «белой» апеллировала к силам зла и стремилась привести человека к гибели и проклятию. К «черным магам» относились со страхом и враждебностью. На жилища людей, подозреваемых в злом колдовстве, наносили черную краску.

Истоки символики черного также лежат в психобиологическом опыте первобытных людей. Черный – это отсутствие света, ночь, когда активность человека снижена, он не может хорошо ориентироваться в окружающем мире и поэтому становится беззащитным перед стихиями и хищниками. Черный – отсутствие сознания, сон, подобный смерти, цвет пепелища и распада.

В средние века черный цвет ассоциировался со смирением и отказом от мирских радостей (отсюда черный цвет одежды духовенства и монашества).

Третьим «основным» цветом у первобытных людей был **красный**. В отличие от белого и черного он относится к хроматическим цветам и является амбивалентным, т. е. может иметь как положительное значение, так и отрицательное. Ассоциируется, прежде всего, с кровью, и в зависимости от вида крови может иметь разное значение. Например, если это кровь животного, убитого охотниками племени для пропитания, то ее значение – положительное. Если это кровь убитого врагами или погибшего во время охоты члена племени, то ее значение отрицательное.

Все «красные вещи» разделяются на две категории, в зависимости от того, приносят они добро или зло. Но, независимо от своей валентности, все «красные вещи» обладают силой, так как кровь – это сила, без нее человек умирает. Сила – главное значение красного и этим объясняется его роль в качестве магического средства. Раскрашивание красной краской лиц воинов, магически должно придавать им силу и храбрость и одновременно устрашить врагов. Как символ силы красный использовался и в качестве средства от сглазов и наговоров. Первобытные люди считали красный также и лечебным цветом, способным заживлять раны и возвращать здоровье.

В сочетании с белым цветом красный составляет «жизнеутверждающую пару», символизирующую добрые силы, могущество, почет, власть и богатство. В паре с белым отрицательные значения красного нивелируются и, наоборот, сочетание красного и черного усиливает негативные стороны красного цвета, придает ему зловещий характер и с точки зрения древней магии символизирует злые силы.

Символические значения красного цвета объясняются его связью в сознании древних с кровью. Причем связь красного с кровью для первобытного сознания более существенна, чем с огнем. Главенство белого, черного и красного в цветовой символике до сих пор наблюдается практически у всех ныне живущих племен Африки с первобытнообщинной организацией.

Для первобытного человека три «основных» цвета – не просто различия в зрительном восприятии различных частей спектра, а концентрированное обозначение больших областей его психобиологического опыта, затрагивающее как разум, так и все органы чувств и связанное с первичными групповыми отношениями. Поскольку этот опыт имеет своим источником саму природу человека, он является всеобщим для всех людей как представителей человеческого рода. Поэтому символический смысл цветовой триады является принципиально сходным в самых различных культурах.

По мере развития общества все прочие цвета также стали приобретать для человека определенное символическое значение, основанное на его психобиологическом опыте и на сопоставлении с объектами окружающего мира. Хотя здесь у разных народов символизм цветов нередко отличался и мог носить амбивалентный характер.

Символика *зеленого* очевидным образом связана у человека с цветом растительности и имеет в большинстве случаев позитивное значение. Это мирный, пассивный цвет, который символизирует надежду и покой, молодость и весеннее возрождение природы, мир и плодородие.

В Японии зеленый – символ весенних сельскохозяйственных обрядов. В средневековой Европе – это знак земной любви и надежды. Автор книги о цвете Герольд Сицилийский писал: «Зеленым облеку себя, сиречь одеждою влюбленных». Считалось, что странствующий рыцарь, исповедующий культ прекрасной дамы, должен одеваться в зеленое. Однако в Древнем Риме зеленый цвет в мужской одежде обозначал изнеженность и противостественные наклонности. В Китае зеленый – это весна, дерево, Юпитер, Зеленый дракон. В Индии – цвет Будды из рода Кармы. В Древней Греции – цвет богини плодородия Деметры и ее дочери Персефоны.

Магическое действие зеленого цвета ярче всего проявляется в изумруде. В своей книге «Рассказы о самоцветах» академик А. Е. Ферсман пишет об этом: «Трудно найти другой самоцвет, который в древности ценился бы больше, чем изумруд – «камень сияния» греков. Сочный зеленый цвет изумруда глубоко ценился как выражение жизни, молодости и чистоты. Ему приписывали обладание таинственной силой исцелять недуги и даровать счастье».

Однако зеленый цвет может быть и негативным символом, олицетворяя собой тление, разложение, демонизм, отвращение, злобу, зависть, тоску, безумие, ужас гибели. Эти значения связаны с цветами плесени, гниющих органических веществ, злобных мифологических животных (змеев, драконов), таинственных обитателей лесов (леший, Зеленый царь), глаз хищных ночных животных и птиц, горьких ядовитых трав и т. п. Общеизвестны выражения «тоска зеленая», «позеленел от злобы» (или от зависти), «зеленый змий» (пьянство).

Символика *синего* исходит из очевидного физического факта – синевы безоблачного неба. В мифологическом сознании небо всегда было обиталищем богов, ангелов и духов предков. Отсюда главный символ синего – божественность и сопряженные с нею значения – святость, таинственность, мистицизм, благородство и чистота (духовность), совершенство, постоянство (в вере, преданности, в любви), правосудие (божье дело).

Голубые тона символизируют бесконечность и даль, тоску и верность.

Синим изображают: предметы культа богов в Египте, Древней Греции и Риме (Зевс, Гера, Юпитер, Юнона); покров Скинии собрания (Ветхий завет), одежда первосвященника в Скинии; одежды Иисуса и Богоматери

в иконописи и живописи; У Псевдо-Дионисия синий обозначает непостижимые тайны. В христианских храмах синие купола символизировали небо, в храмах Древнего Египта потолки. В Европе Нового времени ордена и награды (знаки доблести и превосходства) подвешивали на синих лентах. Знак высокого происхождения – «голубая кровь». Поэтому в некоторых европейских странах (в частности, во Франции) употребление синей краски даже контролировалось государством, подобно использованию пурпура в эпоху поздней античности.

Негативная символика синего исходит из-за его близости к черному, т. е. к цвету смерти и зла. Кроме того, синий – антипод красного и желтого, символов жизни, радости и цветения. Трансцендентность демонических сил и самой смерти также порождает негативную символику синего.

В Китайских мифах это цвет злобных демонических существ, в Японии – цвет злодеев и дьяволиц (театр Кабуки). В мусульманской Индии – цвет печали, траура.

Символика желтого отражает состояния, связанные с позитивной энергетикой: веселье, разрядка напряженности, радость, праздник, игра, красота.

Солнечные, чистые оттенки желтого цвета символизируют жизнь и свет, радость и роскошь, брак и уважение к старости. Ядовито-желтый цвет, напротив, является символом зависти, своеволия, ненависти и лживости.

Оранжевый цвет символизирует тепло и радость, солнечный свет. Насыщенные оранжевые тона ассоциируются с властью, тщеславием.

Фиолетовый цвет мрачный и торжественно-роскошный. Выделяется из всех спектральных цветов своей сложностью, балансируя между красным и синим, а также между синим и черным. Символизирует величие и достоинство, роскошь и великолепие. Может также означать траур, страх, печаль подавленного духа, таинственность (мистика), старость, угасание жизни, трагизм, болезненность, грустные обстоятельства (у немцев), любовная страсть (в средневековой Японии).

Фиолетовый, склоняющийся к синему, называют лиловым, а разбеленные его оттенки – сиреневыми. Это цвета меланхолические, таинственные, грустно-романтические.

Пурпурный (малиновый) – это цвет богатства, царственности, высшей красоты. Он был едва ли не самым почетным и прекрасным в греко-римской античности. У Гомера этот цвет носят герои и боги.

В Древнем Риме пурпурную одежду имели право носить только императоры. Даже сенаторам разрешалось иметь только полосы или каемки этого цвета на одежде (обычно белой).

В Византии пурпур – это императорский цвет. Василевс подписывался пурпурными чернилами, восседал на пурпурном троне, носил пурпурные сапоги.

Все оттенки пурпурного цвета любимы в народном искусстве славян. Очень много малинового и багряного в поэзии Сергея Есенина:

*«Заиграй, сыграй, тальяночка, малиновы меха.
Выходи встречать к околице, красотка, жениха...»*

*«Полыхают зори, курятся туманы
Над резным окошком занавес багряный...»*

Можно вспомнить народные выражения «малиновый звон», «не жизнь, а малина». В фольклоре этим цветом окрашено все отрадное, прекрасное, раздольное.

Серый цвет всегда был цветом бедности, скуки и тоски, городской тесноты, гнилого тумана. В древности и средневековье он совершенно не ценился. Его считали цветом рублища бедняков, цветом несчастья и посредственности. Серо-голубой цвет у древних римлян символизировал зависть. На древнем Востоке в знак скорби посыпали голову пеплом.

В древнерусской литературе и фольклоре серый и сизый употреблялся в качестве прилагательного к обозначениям животных или птиц, которых народ недолюбливал – «серый волк», «сизый орел». На эти цвета как бы переходит антипатия, питаемая людьми к этим животным. Серый цвет был отличительным признаком одежды бедного крестьянина (сермяга).

Однако в эпоху позднего Возрождения серый приобретает положительный оттенок. Он становится цветом изящества, элегантности, благородства. Флорентийские дворяне носят серый бархат и парчу, испанские принцессы и голландские знатные дамы щеголяют в сером атласе, на полотнах Франческо Сальвиати все краски как бы выцвели и стали более или менее серыми, у Эль Греко оттенки серого заняли почти все поле картины, создавая оправу для «драгоценных камней» – хроматических цветов. В XVIII в. серый становится элегантнейшим цветом. Пудренные парики, мужское и женское платье, гобелены, обивка мебели, стенные обои и шпалеры – везде можно видеть множество оттенков серого – перламутровые, жемчужные, «цвет голубиной шейки» и т. д. А в XIX и XX вв. серый уже был принят как самый «практичный» в одежде и самый спокойный в интерьере. Была по достоинству оценена красота серой шерсти, мехов, древесины. Серый стал цветом элегантности, знаком хорошего тона и изысканного вкуса.

Коричневый цвет весьма распространен в природе и как элемент природных объектов людьми ценится. Однако в древности и в Средние века этому цвету, равно как и серому, придавали негативный смысл. В Древнем Риме коричневые туники носили рабы или люмпены-пролетарии. Для высших классов общества этот цвет был запретным. В культуре Ислама коричневый воспринимается как цвет распада и разложения [45]. В средневековой Европе коричневый и серый в одежде означают страдание и безнадежность. В XX в. мастера стиля модерн выражают в коричневом цвете настроения грусти, увядания, предчувствия смерти, усталости и тоски.

3.13.2. Эмоциональное воздействие цвета на человека

Воздействие цвета на эмоциональное состояние человека в общем случае определяется приобретенным в процессе эволюции психобиологическом опытом, отраженном в цветовом символизме. Однако цивилизация также внесла в него свои поправки.

Еще Гёте в своем знаменитом «Учении о цвете» поделил все цвета на две группы: *теплые* – первичные, положительные и *холодные* – вторичные, отрицательные. При этом он отмечал способность определенных красок оказывать влияние на настроение человека. Он говорил: «опыт учит нас тому, что отдельные цвета дают особое расположение духа, так, например, желтый цвет легко возбуждает, он веселый, добрый, а синий вносит беспокойство». Гёте полагал, что желтый ближе к свету, голубой же от него удаляется [38].

Благодаря проведенным различными учеными исследованиям стало возможным определить характер воздействия цветов и их сочетаний на нервную систему и работоспособность человека [39].

Красный цвет, с точки зрения психологов, требует особо осторожного отношения к себе. Основное воздействие, которое чистый красный цвет оказывает на человека, – возбуждающее и стимулирующее, активного, навязчивого, принудительного характера. Дыхание и пульс человека, долгое время наблюдающего красный цвет, изменяются, как при всяком возбуждении. Известный художник В. Кандинский писал: «Красный внутренне очень живой, подвижный, беспокойный цвет, у которого, однако, не легкомысленный характер желтого цвета, раздающего себя на все стороны». Это выразительное высказывание хорошо определяет психологические ощущения, вызываемые красным цветом. При кратковременном воздействии красного цвета у человека повышается работоспособность, но чересчур длительное воздействие насыщенного красного цвета быстро утомляет, приводит к снижению работоспособности [40].

Очень многое, однако, зависит от оттенка красного цвета. Так, светло-красный может поднять настроение и мобилизовать (светлые оттенки красного воздействуют возбуждающе, наступательно), а вот насыщенный, яркий и темный красный ассоциируется с тревогой и создает напряженную атмосферу в помещении. Некоторые оттенки красного оказывают раздражающее действие, благодаря чему их во всем мире используют для указания опасности. А коричнево-красный цвет, наоборот, успокаивает, вызывает ощущение умиротворенности.

Некоторым людям красный и бордовый цвета могут показаться излишне тяжелыми и вызвать беспокойство от длительного созерцания, а коричневые и фиолетовые оттенки красного – даже вызвать депрессию. Очень распространена точка зрения, что красному цвету отдают предпочтение люди деловые и честолюбивые, жаждущие внимания к своей персоне и желающие всегда быть в центре событий.

Глубокий темно-бордовый оттенок красного цвета может иметь множество богатых тонов. Этот цвет ассоциируется с жизнеспособностью и силой, придает целеустремленность, сдержанность, стойкость к невзгодам или превратностям судьбы.

Малиновый оттенок красного обычно предпочитают люди, жаждущие соперничества и успеха, часто легкомысленные. Это очень оптимистичный цвет, способный пробудить в человеке активность и агрессивность на интеллектуальном плане.

Алый оттенок красного – наиболее веселый, жизнерадостный цвет, способный избавить от отчаяния.

Предпочтение алому цвету часто отдают люди, беспокойные по натуре и достаточно эгоистичные.

Мягкие розовые оттенки красного, по мнению психологов, считаются любимыми цветами мягких и дружелюбных людей, чутких и легкокорнимых, способных на глубокую привязанность, а вот резким неоноворозовым оттенкам отдают предпочтение более агрессивные личности.

Оранжевый цвет, возникающий из комбинации красного с желтым, способствует хорошему настроению, вызывает ощущение тепла, стремление к движению, активизирует. При условии непостоянного воздействия благоприятно влияет на работоспособность. Светло-оранжевый цвет наиболее благоприятно действует на детей, повышает их настроение, улучшает физиологические функции. Считается, что оранжевый цвет и его оттенки предпочитают импульсивные и амбициозные, но всегда оптимистичные люди.

Желтый цвет, с точки зрения психологов, соответствует сангвиническому темпераменту, соотносится с динамической, кинетической энергией. Желтый цвет, как и оранжевый, пользуется популярностью у жизнерадостных и подвижных людей, стремящихся к изменениям в жизни, путешествиям. Желтый цвет производит впечатление солнечного освещения, бодрит, вызывает ощущение тепла и света, способствует созданию хорошего настроения, выражает освобождение, облегчение, психологическую способность к раскрытию. Нежные оттенки желтого цвета оказывают наиболее благоприятное влияние на настроение человека, они быстрее других цветов гасят отрицательные эмоции. Согласно психологическим тестам пристрастие к желтым оттенкам было замечено у многих беременных женщин, готовящихся к родам. Ученые объясняют этот факт положительным влиянием желтого цвета, пробуждающего надежду и препятствующего погружению в разочарование, депрессивное расслабление. При непостоянном воздействии желтый цвет может повысить работоспособность. Много зависит и от оттенков желтого: например, зеленовато-желтый цвет для многих людей психологически неприемлем, он вызывает ощущение чего-то ядовитого, сернистого, жесткого.

Бежевый и **коричневый** оттенки считаются «домашними», природными цветами. Такие оттенки, с точки зрения психологов, предпочитают люди, стремящиеся к стабильности и покою, старающиеся избежать риска и резких перемен в жизни.

Коричневый цвет считается спокойным и сдержанным, он вызывает ощущение тепла, способствует созданию спокойного мягкого настроения. Этот цвет иногда ассоциируется с ностальгией и меланхолией, уравновешивая радость и веселье, делая последние более желанными. По мнению некоторых американских психологов, темно-коричневый цвет может хорошо подойти для спальни, а также для обстановки, в которой можно сосредоточиться, поскольку помогает абстрагироваться от чужого мнения, не тратить время и силы зря в процессе достижения поставленной цели, ощутить почву под ногами. Это цвет надежности, прочности, здравого смысла.

Однако использовать коричневый цвет следует осторожно, так как некоторые его оттенки могут вызвать серьезные и даже мрачные размышления.

Например, психологи заметили, что тусклый, даже мрачный коричневый цвет предпочитают люди, попавшие в сложную конфликтную ситуацию. В этом смысле предпочтение коричневого цвета означает регрессию к физическим, жизненным потребностям. Особая склонность к этому цвету фиксируется у людей престарелого возраста. Часто коричневый цвет выбирают прямые и практичные по натуре люди, отличающиеся откровенностью и честностью. При этом более темные оттенки коричневого предпочитают достаточно придирчивые и, порой, раздражительные натуры, а красновато-коричневому отдают предпочтение более чувственные личности.

Замечено также, что темные тона в интерьере приносят в него сдержанность и покой, а светлые, наоборот, оживляют. В теплых оттенках больше динамизма, они действуют возбуждающе; холодные успокаивают, располагают к отдыху. Например, иногда для того чтобы прогнать хандру, по мнению психологов, достаточно просто окружить себя яркими предметами любимых оттенков. Вообще, наиболее благоприятны те мягкие светлые оттенки трех главных цветов спектра – красного, зеленого и синего, которые существуют в живой природе.

Цветовое решение интерьера имеет большое психологическое значение для сохранения душевного равновесия человека, живущего в данном доме, квартире или комнате.

Зеленый цвет считается самым благоприятным цветом для человека с точки зрения психологического восприятия, на многих людей он оказывает освежающее и успокаивающее воздействие. Многие психологи склоняются к версии, что такое влияние зеленого цвета, очевидно, вызвано тем, что человеческое зрение за миллионы лет эволюции наиболее привыкло к этому цвету – цвету окружающей растительности.

Этот цвет успокаивает и располагает к общению, способствует отдыху, положительно влияет на повышенное кровяное давление, повышает восприимчивость и, по мнению психологов, способствует релаксации и медитации.

«Пассивность – это наиболее характерное свойство абсолютно зеленого цвета», – писал В. Кандинский.

Поэтому использование зеленого цвета в интерьере – например бра и торшеров с абажурами зеленых оттенков, зеленых ночников, – обеспечит уютную обстановку в спальне, поможет создать атмосферу, способствующую глубокому, спокойному сну.

Зеленый цвет может иметь множество оттенков, различно влияющих на человека. Мягкие желто-зеленые тона (бриллиантовая зелень) могут стимулировать мыслительную деятельность, укрепляют нервную систему, способствуют релаксации. Желто-зеленый цвет психологически означает раскрытие возможностей, желание встречи с новым. Поэтому этот цвет можно успешно использовать в интерьере рабочего кабинета или комнаты школьника.

Однако не следует использовать в спальне ярко-зеленый цвет, поскольку агрессивные, яркие зеленые оттенки могут вызвать бессоницу.

Чистый зеленый, с точки зрения психологов, – наиболее консервативный цвет. Принято считать, что люди, предпочитающие чистый зеленый, обладают уверенной, твердой манерой держаться, стремятся к стабильности и прочности своего положения в жизни; им свойственны такие качества, как постоянство, настойчивость, сила воли, самоуважение. Человек, предпочитающий зеленый цвет, как утверждают психологи, имеет стабильное чувство самооценки, твердо придерживается своих убеждений и не приветствует какие-либо внешние и внутренние изменения.

Длительное наблюдение спокойных, нейтральных и мягких оттенков зеленого цвета вызывает устойчивый подъем работоспособности (кратковременное действие зеленого цвета на работоспособность не влияет).

Зеленоватый цвет с лимонным оттенком, по мнению психологов, обычно предпочитают люди, стремящиеся избегать конфликтов, постоянно контролируемые свое поведение и наблюдающие за другими людьми, а также люди, следящие за тем, чтобы не подвергнуться опасной для них критике и не скомпрометировать себя.

Яркий изумрудный оттенок зеленого может вызвать у человека желание пережить приключение. Такой цвет часто предпочитают личности, не лишённые сентиментальности и сострадания. Оливковый цвет, напротив, часто выбирают люди, избегающие рискованных ситуаций и спорных вопросов.

Коричнево-зеленые оттенки, близкие к цвету маслин, имеют психологическое значение чувственной пассивности. Предпочтение такого оттенка, с точки зрения психологов, говорит о чувственном восприятии действительности.

Зеленые тона с добавлением синего становятся холоднее по мере того, как зеленый цвет приближается к синему. Светлые сине-зеленые оттенки сдерживают и успокаивают, но темные сине-зеленые тона несут ощущение

напряженности. Психологи считают, что люди, предпочитающие темные сине-зеленые оттенки, как правило, стремятся к самоутверждению. Психологически такой оттенок выражает эгоцентризм, притязание на собственную значимость и гордость, которая в крайних случаях может даже переходить в замкнутость и самовозвеличивание.

Синий цвет – холодный, спокойный, пассивный, под его влиянием снижается работоспособность, возникает склонность к созерцательности и размышлению. Затененный, тусклый синий цвет может вызывать чувство суеверия и боязни, ощущение потерянности и печали, и вместе с тем – указывать путь к духовному, трансцендентному [41].

Синий цвет, особенно его темные оттенки, способен оказывать благотворное влияние на людей, нуждающихся в покое, разрядке и отдыхе, склонных к возбуждению и легко раздражающихся.

«Склонность синего цвета к глубине настолько велика, что он становится интенсивнее именно в глубоких тонах и действует «характернее», проникновеннее. Чем глубже синий цвет, тем больше он зовет человека в бесконечность, будит в нем стремление к чистому...», – писал В. Кандинский [39]. Однако у некоторых людей избыток темно-синего цвета вызывает подавленность, депрессивные ощущения.

Психологи считают, что синий цвет предпочитают деятельные люди, ценящие равновесие духа и доверительность отношений.

Предпочтение светло-синих оттенков говорит о беззаботности и безопасности человека. Голубой цвет вообще относится к так называемым «пассивным» цветам, поскольку он способствует нежности и мечтательное, понижению активности и эмоционального напряжения, ослаблению и замедлению жизненных процессов, вызывает ощущение прохлады. Внимательно созерцая голубой цвет, можно легко ощутить, как возникает приятное состояние расслабления, умиротворения – достаточно вспомнить, как чудесно наблюдать чистое голубое небо. Это цвет глубины и простора. Лазурный, небесно-голубой цвет благоприятно влияет на нервную систему, успокаивая ее, повышает трудоспособность. Этот цвет также весьма благоприятен для людей с повышенной нервной возбудимостью.

Лазурному цвету часто отдают предпочтение альтруистические натуры и люди, стремящиеся посвятить себя благородным делам и духовным достижениям.

Темно-синий цвет придает надежность и силу. Такой цвет, как правило, приходится по душе людям независимым, но способным на доверие и преданность. То же можно сказать и еще о двух насыщенных оттенках синего, таких как индиго и ультрамарин. Натуры, предпочитающие эти тона, часто стремятся к достижению своих идеалов, ищут способ помочь другим людям.

Фиолетовый цвет, особенно глубокий и сочный, считается цветом творчества. Считается, что фиолетовые оттенки предпочитают люди, склонные к живописи, а также натуры, нуждающиеся в любви и восхищении.

Однако вкупе с необычайной красотой этот цвет еще и очень коварен: считается, что яркий фиолетовый влияет на подсознание и настраивает на раздумья, а в больших количествах – способствует меланхолии, расслабляет психику, вызывая утомление.

Фиолетовый цвет относится к наиболее пассивным. Его воздействие приводит к ослаблению и замедлению жизненных процессов, понижению активности, к появлению ощущения угнетенности с оттенком некоторого беспокойства. Даже кратковременное действие фиолетового цвета снижает работоспособность. Фиолетовый цвет с синим оттенком может вызывать ощущение одиночества и самоотрешенности. Очень сильно меняется «характер» насыщенного фиолетового цвета при его осветлении: светло-лиловый оттенок становится «легче», психологически воспринимается менее беспокойным, чем яркий и насыщенный фиолетовый цвет.

Бледно-лиловый цвет часто приходится по душе людям приятного нрава, достаточно пунктуальным и аккуратным, склонным к требовательности и тщательности; может быть, порой, несколько манерным. Часто такие люди достаточно эгоистичны и настойчивы.

Пурпурный цвет, пышный и торжественный, иногда называют «королевским» оттенком фиолетового. Этот цвет предпочитают люди, стремящиеся к превосходству.

Белый цвет, который уместен практически в любом интерьере, словно уравнивает все вокруг. Психологически предпочтение белого цвета означает стремление к абсолютной свободе от всех препятствий, свободе для любых возможностей. Считается, что белый цвет излучает энергию и свет, придает силы. Люди, предпочитающие белый цвет, часто очень аккуратны в деталях и манерах, способны хорошо понимать собеседника. Это искренние и честные люди, может быть, иногда склонные к излишней требовательности.

Серый цвет может иметь множество оттенков, однако чистый серый (так называемый промежуточный цвет) свободен от каких-либо психологических тенденций. Считается, что этот цвет расслабляет, помогает чувствовать себя спокойно и способствует сну. Серый цвет вызывает ассоциацию с неподвижностью и стабильностью, здравомыслием и реализмом, однако некоторые оттенки серого очень унылы и могут вызывать апатию, скуку, а темно-серые оттенки – даже угнетать. Серый цвет достаточно часто предпочитают конформисты по натуре, люди, стремящиеся держаться в тени.

Вообще же, с точки зрения психологов, склонность к серому цвету говорит о сильном переутомлении. Как правило, выбор серого цвета является защитной реакцией организма и означает стремление к нейтралитету, отказ от какого-либо выражения внешних или внутренних качеств. К такому выводу ученые пришли по результатам интересного теста, проведенного среди молодых мужчин во время отборочных экзаменов на замещение вакантных должностей. Как известно, экзамен в любом случае сопровождается

стрессом. Результаты показали, что если до экзамена чисто серый цвет в качестве любимого выбирали только 5 % испытуемых, после его завершения серый на первое место поставили около трети опрошенных.

Интересны с психологической точки зрения и оттенки серого цвета. Например, предпочтение светло-серых оттенков говорит о готовности к контактам и переживаниям, быстрому реагированию. Предпочтение, отдаваемое темно-серому, говорит о сдерживаемом возбуждении, повышенной чувствительности, стремлении достигнуть постоянного, гармоничного состояния душевного равновесия, физического и душевного удовлетворения.

Черный цвет с психологической точки зрения отражает агрессивное упорство, абсолютный отказ, психологическую защиту. Психологи считают, что черный цвет предпочитают люди, которые на подсознательном уровне из упрямого протеста восстают против своей судьбы. И наоборот, противниками черного цвета скорее всего становятся люди, не желающие лишаться чего-либо в своей жизни. Черный цвет часто связывают с таинственностью, трагичностью, а также со снобизмом и формализмом. Считается, что в больших количествах черный цвет угнетает, резко снижает настроение и работоспособность. Однако черный может быть и очень динамичным, способствовать лучшему пониманию и спокойствию, придавать достоинство.

Кстати, психологи утверждают, что пристрастие к белому и черному цвету в большинстве случаев наблюдается у людей, испытывающих сильное психологическое давление с кризисным обострением, а также у детей в период полового созревания как свидетельство о подростковом максимализме, неопределенности жизненного выбора, но со временем черно-белое предпочтение уступает цветному видению мира.

При достижении цветовой гармонии в интерьере человек начинает ощущать комфорт на подсознательном уровне. В противном случае возникает ощущение беспокойства, приходит раздражение. Следует еще раз подчеркнуть, что психологическое влияние цвета зависит от характера человека и от его представления о гармоничности тех или иных цветовых сочетаний, которое всегда субъективно. Это хорошо известно дизайнерам и художникам [42].

По мнению некоторых психологов, выбор цветовых предпочтений всегда очень тесно связан с основными чертами характера индивидуума и до некоторой степени отражает его внутренний мир. Известна уникальная психодиагностическая методика, разработанная учеными Г. Г. Воробьевым и В. В. Налимовом в 80-х гг. XX столетия, согласно которой участникам теста предлагалось в порядке предпочтения расположить 19 наиболее известных картин художников-абстракционистов от наиболее «понравившейся» до самой «неприятной». В результате статистического анализа данных ученые смогли с погрешностью до 5 лет определить возраст человека, его профессиональные ориентации, хобби, семейное положение.

Кроме того, цветовые предпочтения могут зависеть и от темперамента человека.

Наиболее известна и популярна психологическая типология Макса Люшера, где определенным психотипам соответствует определенные цветовые предпочтения. Люшер разработал тест цветовых выборов, с помощью которого определяются мотивационная направленность и эмоциональное состояние личности.

Таким образом, четыре основных цвета (синий, желтый, зеленый, красный) соответствуют основным психотипам личности: меланхолик, сангвиник, флегматик, холерик.

Меланхолики, по мнению специалистов, предпочитают голубоватые оттенки.

Сангвиники – веселые и открытые люди, часто выбирают оптимистичные желтые расцветки.

Флегматики отдают предпочтение спокойным зеленоватым тонам.

Холерики часто останавливают свой выбор на розоватых и красноватых оттенках.

Макс Люшер на основании своей методики выделил четыре основных типа личности, соответствующих красному, синему, зеленому и желтому цвету. Каждый цветотип в данном случае определяется преобладающей манерой поведения данного человека.

«Красный» цветотип стремится к успеху и новым достижениям. «Синий», наоборот – к удовлетворению, успокаивающему удовольствию, гармонии. «Зеленый» цветотип стремится обрести уверенность в собственной значимости, а «желтый» – к беззаботной свободе, новым возможностям, освобождению от каких-либо ограничений и препятствий.

Интересно, что человек вовсе не обязательно должен принадлежать к какому-то одному цветотипу. Наоборот, чем больше цветотипов соединены в одной личности, тем более гармоничной, с точки зрения психологов, она является. Таким образом, в наибольшей гармонии с самим собой и окружающими находится «четырёхцветная» личность, т. е. человек, сочетающий в себе все перечисленные стремления и ощущения: самоуважение (зеленый), уверенность в своих силах (красный), удовлетворенность (синий), внутренняя свобода (желтый).

Не случайно западные дизайнеры считают, что лучший способ найти цвет, который вам по душе – это пополнить им свой гардероб, «примерить» цвет на себя. Человек, комфортно чувствующий себя в одежде определенного цвета, через некоторое время непременно пожелает иметь этот цвет в своем домашнем интерьере, хотя бы в виде какой-нибудь мелочи, освежающей привычную обстановку.

3.14. Цветовая гармония

Когда говорят о *цветовой гармонии*, то имеют в виду впечатление от взаимодействия двух или более цветов.

Для большинства людей цветовые сочетания, которые принято называть гармоничными, состоят из близких друг к другу тонов или же из различных цветов, имеющих одинаковую светлоту. Как правило, такие сочетания не обладают высокой контрастностью.

Оценка гармонии или дисгармонии определяется субъективными ощущениями и не носит объективного характера. Гармония в общем случае – это равновесие, симметрия восприятия чего-либо. В рассматриваемом случае – сочетания цветов. Однако с давних времен разными исследователями делались попытки перенести понятие цветовой гармонии из области субъективных ощущений в область объективных закономерностей.

3.14.1. Основные закономерности цветовой гармонии

Даже самый предварительный анализ показал, что ощущение равновесия и цветовой гармонии возникает при наблюдении дополнительных цветов (подразд. 3.9.1). Более того, глаз сам способен «подсказать», какой цвет будет гармонировать с наблюдаемым. Если некоторое время смотреть на зеленый квадрат, а потом закрыть глаза, то в глазах у нас возникнет красный квадрат. И наоборот, наблюдая некоторое время красный квадрат, при закрытых глазах мы получим зеленый. Эти опыты можно производить со всеми цветами, и они подтверждают, что цветовой образ, возникающий в глазах, всегда основан на цвете, дополнительном к цвету реально наблюдаемому. Глаз требует или порождает комплементарные цвета, что можно рассматривать как естественную физиологическую потребность зрения достичь состояния равновесия. Такое явление известно как последовательный контраст (подразд. 3.9.6). Опыты с отрицательной индукцией, когда серое пятно на ярком цветном фоне окрашивается в дополнительный цвет, подтверждают эту закономерность [43].

Впоследствии представления о гармонии цветов были несколько расширены. Английский физик Бенджамин Томпсон (впоследствии граф Румфорд) в 1797 г. высказал гипотезу о том, что цвета являются гармоничными в том случае, если их смесь дает белый цвет. Известно, что если из полного спектра белого света изъять какой-либо спектральный цвет, предположим, красный, а излучение оставшихся спектральных составляющих – желтого, оранжевого, фиолетового, синего и зеленого цветов собрать вместе с помощью линзы, то цвет этого суммарного излучения будет зеленым. Получится цвет дополнительный к изъятому. Известно также, что смесь излучений двух дополнительных цветов образует белый свет. Если же смешать краски двух дополнительных цветов, то в этом случае получится один

из оттенков серого, т. е. ахроматический цвет. Немецкий физиолог Эвальд Геринг отметил по этому поводу следующее: «Среднему или нейтральному серому цвету соответствует то состояние оптической субстанции, в котором диссимилиация – расход сил, затраченных на восприятие цвета, и ассимиляция – их восстановление – уравновешены. Это значит, что средний серый цвет создает в глазах состояние равновесия».

Если мы рассматриваем белый квадрат на черном фоне, а затем посмотрим в другую сторону, то в виде остаточного изображения увидим черный квадрат. Если мы будем смотреть на черный квадрат на белом фоне, то остаточным изображением окажется белый. Это указывает на стремление психики к восстановлению состояния равновесия.

Однако если рассматривать серый квадрат на примерно таком же сером фоне, хотя и другого оттенка, то в глазах не появится никакого остаточного изображения, отличающегося от средне-серого цвета. Это можно понимать так, что именно нейтральный серый цвет в наибольшей степени и соответствует тому состоянию равновесия, к которому стремится наше зрительное восприятие.

3.14.2. Двенадцатичастный цветовой круг Гёте

Цветовой гармонией занимался немецкий физик и поэт Иоганн Вольфганг Гёте. В начале XIX в. он опубликовал книгу «Учение о цветах», в которой изложил свои представления об эмоциональном воздействии на человека отдельных цветов и их сочетаний [33, 38].

В своих рассуждениях о гармонии цветových композиций Гёте использовал цветовой круг, разделенный на 12 частей (рис. 3.46), а в качестве основных цветов выбрал желтый, красный и синий.

Для определения гармоничной цветовой композиции, по его мнению, весьма важно количественное отношение цветов. На основании яркости основных цветов Гёте вывел следующую формулу их количественного соотношения: желтый : красный : синий = 3:6:8. Экспериментируя с различными сочетаниями цветов и их количественными соотношениями, он пришел к выводу, что гармоничными являются все пары дополнительных цветов, а также все сочетания трех цветов в двенадцатичастном цветовом круге, которые связаны друг с другом через равносторонние или равнобедренные треугольники, квадраты и прямоугольники.

Поскольку желтый, красный и синий образуют в системе двенадцатичастного цветового круга основное гармоничное трезвучие, то, соединив эти цвета между собой, получим равносторонний треугольник. Смесь этих цветов дает темно-серый цвет.

Желтый, красно-фиолетовый и сине-фиолетовый цвета объединяет фигура равнобедренного треугольника. Гармоничное сочетание желтого, красно-оранжевого, фиолетового и сине-зеленого объединены квадратом.

Прямоугольник же дает гармоничное сочетание желто-оранжевого, красно-фиолетового, сине-фиолетового и желто-зеленого.

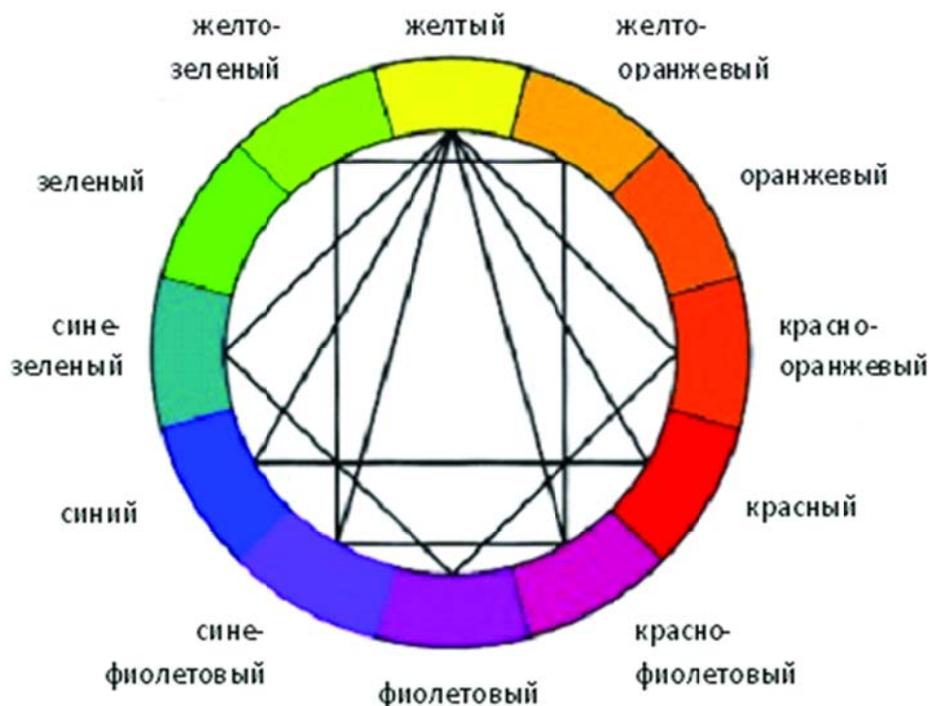


Рис. 3.46. Двенадцатичастный цветовой круг Гёте

Связка геометрических фигур, состоящая из равностороннего и равнобедренного треугольников, квадрата и прямоугольника, может быть размещена в любой точке цветового круга. Эти фигуры можно вращать в пределах круга, заменяя, таким образом треугольник, состоящий из желтого, красного и синего, треугольником, объединяющим желто-оранжевый, красно-фиолетовый и сине-зеленый или красно-оранжевый, сине-фиолетовый и желто-зеленый

Очевидно, что один и тот же серый цвет можно получить как путем смешивания черного и белого, так и смешивая два дополнительных цвета в том случае, если, как рассуждал Гёте, в их состав входят три основных цвета – желтый, красный и синий в нужной пропорции. В частности, каждая пара дополнительных цветов включает в себя все три основных цвета:

- красный – зеленый = красный – (желтый и синий);
- синий – оранжевый = синий – (желтый и красный);
- желтый – фиолетовый = желтый – (красный и синий).

Таким образом, если группа из двух или более цветов содержит в соответствующих пропорциях желтый, красный и синий, которые представляют собой общую цветовую суммарность, то смесь этих цветов будет серой.

Явление отрицательной индукции, окрашивающее серое пятно в цвет дополнительный к цвету фона, также было хорошо знакомо Гёте. В своем

труде «Учение о цветах», он писал: «Когда глаз созерцает цвет, он сразу приходит в активное состояние и по своей природе неизбежно и бессознательно тотчас же создает другой цвет, который в соединении с данным цветом заключает в себе весь цветовой круг. Каждый отдельный цвет благодаря специфике восприятия заставляет глаз стремиться к всеобщности. И затем, для того чтобы добиться этого, глаз, в целях самоудовлетворения, ищет рядом с каждым цветом какое-либо бесцветно-пустое пространство, на которое он мог бы продуцировать недостающий цвет. В этом проявляется основное правило цветовой гармонии».

3.14.3. Цветовая гармония в кино и телевидении

Знание законов цветовой гармонии очень важно в кино- и видеопроизводстве, поскольку помогает создавать нужное настроение в эпизодах фильма. Сведущий режиссер может вполне сознательно выбрать цветовую палитру в кадре, подобрать костюмы актеров, поставить нужное освещение так, чтобы возникало ощущение цветовой гармонии.

Хорошим примером такой работы может служить сериал Игоря Масленникова о Шерлоке Холмсе и докторе Ватсоне. Весь фильм вполне сознательно снят в затемненных тонах – яркие краски в большинстве эпизодов практически отсутствуют. Это придает фильму атмосферу загадочной таинственности, замешанной на ароматах доброй старой Англии времен королевы Виктории. А сцены в квартире героев фильма на Бейкер-стрит 221б выполнены в коричнево-бежево-красных тонах, создающих ощущение уюта и неторопливого течения времени, так свойственное коренным жителям Британских островов. С большой долей вероятности можно предположить, что этот штрих, добавленный к великолепной игре актеров Василия Ливанова и Виталия Соломина, в немалой степени помог фильму стать тем шедевром, который был признан лучшим из всех экранизаций «Шерлока Холмса» даже чопорными англичанами.

Образцом продукции противоположного рода могут служить рекламные ролики, где яркие кричащие краски вместе с петушиным верещаньем полупомешанных мальчиков делают все, чтобы навсегда отбить охоту у потенциальных потребителей рекламируемых товаров и услуг пользоваться всем этим. Такая реклама только раздражает. Вопиющая безграмотность изготовителей превращает рекламу в ее противоположность – антирекламу. Цель оказывается не достигнутой, а деньги рекламодателей, фактически, выброшенными на ветер.

Классические основы цветовой гармонии, отражающие результаты многочисленных исследований и экспериментов, представлены в табл. 3.2.

Гармонирующие и негармонирующие сочетания цветов

Основные цвета	Гармонирующие с ними цвета	Негармонирующие с ними цвета
Красный	Зеленый, синий, ультрамарин, золотисто-желтый, серый	Фиолетовый, кирпичный, оранжевый, оливковый, розовый, коричневый, каштановый
Розовый	Бордо, коричневый, серый	Синий, оливковый, красный, каштановый, ультрамарин, сиреневый
Оранжевый	Ультрамарин, зеленый, фиолетовый, лиловый, белый, коричневый	Пурпурный, красный
Коричневый	Оливковый, миртовый, золотистый, беж, серый	Бордо, сиреневый, розовый
Золотистый	Ультрамарин, зеленый, фиолетовый, коричневый, голубой	Розовый, сиреневый
Желтый	Зеленый, коричневый	Бордо, розовый
Зеленый	Фиолетовый, пурпурный	Синий, оранжевый
Голубой	Красный, кирпичный, киноварный, ультрамарин, оранжевый, светло-фиолетовый	Бордо, сиреневый
Синий	Оливковый, красный, золотистый, бордо	Зеленый, розовый, коричневый
Фиолетовый	Золотистый, желтый, оранжевый	Красный, кирпичный
Серый	Черный, ультрамарин, розовый, желтый, голубой, сиреневый	Коричневый, бежевый

При подборе цветовой гаммы не следует забывать и о цветовой индукции, т. е. изменении характеристики одного цвета под влиянием другого. Если рядом расположить темный и светлый цвета, то темный будет казаться темнее, а светлый – светлее.

Контрольные вопросы

1. Опишите общую структуру органа зрения человека и поясните назначение каждого ее элемента.
2. Опишите особенности оптической системы глаза.
3. Приведите основные характеристики человеческого глаза.
4. Что такое сферическая аберрация? Как она влияет на зрительное восприятие?
5. Что такое хроматическая аберрация и как она проявляется в человеческом зрении?

6. Что такое аккомодация и конвергенция? На какие характеристики зрения они влияют?
7. Что такое иррадиация?
8. Охарактеризуйте диапазон видимого человеком света. Назовите основные цвета спектра.
9. Что такое порог зрительного ощущения? Охарактеризуйте три вида зрения.
10. Что такое световая и темновая адаптация? Какие механизмы адаптации зрения вы знаете?
11. Что такое сенсбилизация и десенсбилизация?
12. Что такое контраст ощущений и краевой контраст?
13. Как определяется острота зрения?
14. Дайте характеристику световой чувствительности рецепторов. Что такое кривая относительной световой эффективности?
15. Дайте определение основным характеристикам хроматических цветов. Что такое ахроматические цвета и какими характеристиками они обладают?
16. Что такое цветовой круг и какие закономерности можно определить с его помощью?
17. Как цветовой тон зависит от освещенности?
18. Какие законы смешивания цветов вы знаете? Опишите их.
19. Что такое хроматическая адаптация и хроматическое утомление? Приведите примеры.
20. Что такое цветовая индукция и контраст? Какие виды и закономерности цветовой индукции и контраста вы знаете?
21. Расскажите о метамерии и ее использовании в современных технологиях воспроизведения цветного изображения.
22. Каков диапазон воспринимаемой яркости человеческого зрения и дифференциальные пороги по цвету?
23. Охарактеризуйте инерцию зрения. Что такое критическая частота слияния?
24. Расскажите о динамике зрения.
25. Опишите иллюзии человеческого зрения, связанные с восприятием целого и части.
26. Опишите иллюзии человеческого зрения, связанные с переоценкой вертикальных линий.
27. Опишите иллюзии человеческого зрения, связанные с восприятием фигуры и фона.
28. Опишите иллюзии человеческого зрения, связанные с взаимовлиянием линий и фигур.
29. Что такое ведущий глаз?
30. Расскажите о цветовом символизме.
31. Расскажите об эмоциональном воздействии цвета на человека.

32. Что такое цветовая гармония? Каковы основные закономерности цветовой гармонии?

33. Что такое двенадцатичастный цветовой круг Гёте?

34. Расскажите об использовании цветовой гармонии в кино и телевидении.

Список литературы

1. *Хьюбел, Д.* Глаз, мозг, зрение / Д. Хьюбел. – М. : Мир, 1990.
2. *Пэдхэм, Ч.* Восприятие света и цвета / Ч. Пэдхэм, Дж. Сондерс ; пер. с англ. – М. : Мир, 1978.
3. *Луизов, А. В.* Глаз и свет / А. В. Луизов. – Л. : Энергоатомиздат, 1983.
4. *Луизов, А. В.* Цвет и свет / А. В. Луизов. – Л. : Энергоатомиздат, 1989.
5. *Ландсберг, Г. С.* Оптика / Г. С. Ландсберг. – М. : Мир, 1952.
6. Большая медицинская энциклопедия / Главн. ред. академик Б. В. Петровский. – М. : Советская энциклопедия, 1974. – Т. 1.
7. *Кравков, С. В.* Глаз и его работа / С. В. Кравков. – Изд. АН СССР, 1950.
8. *Артамонов, И. Д.* Иллюзии зрения / И. Д. Артамонов. – М. : Наука, 1969.
9. *Толанский, С.* Оптические иллюзии / С. Толанский ; пер. с англ. – М. : Мир, 1967.
10. *Соколов, Е. Н.* Цветовое зрение / Е. Н. Соколов, Ч. А. Измайлов. – Изд-во Московского университета, 1984.
11. *Ньютон, И.* Лекции по оптике / И. Ньютон. – М. : Изд-во АН СССР, 1946.
12. *Грегори, Р. Л.* Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия / Р. Л. Грегори. – М. : Мир, 1970.
13. *Демкина, Л. И.* О световых и цветовых порогах для точечных источников монохроматического света / Л. И. Демкина // Труды I конференции по физиологической оптике. – М. – Л. : Изд-ва АН СССР, 1936. С. 373–378.
14. *Ивенс, Р. М.* Введение в теорию цвета / Р. М. Ивенс. – М. : Мир, 1964.
15. *Бертулис, А. В.* Пространственно-частотные механизмы восприятия цвета / А. В. Бертулис, С. А. Якубенене // Физиология человека. – 1985. – Т. 11. – № 3. – С. 355–359.
16. *Гуревич, М. М.* Возможная форма кривых трех приемников глаза / М. М. Гуревич // Проблемы физиологической оптики. – 1947. – Т. 4. – С. 131–138.
17. *Гуревич, М. М.* Цвет и его измерение / М. М. Гуревич. – М. – Л. : Изд-во АН СССР, 1950.
18. *Джадд, Д.* Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецки ; пер. с англ. – М. : Мир, 1978.
19. *Миннарт, М.* Свет и цвет в природе / М. Миннарт. – М. : Физматгиз, 1958.
20. *Уилан, Б.* Гармония цвета: Новое руководство по созданию цветowych комбинаций / Б. Уилан ; пер. с англ. – М. : Астрель, 2005;
21. *Зусимович, В. М.* Свет и цвет в телевидении / В. М. Зусимович. – М. : Энергия, 1964.

22. *Алексеев, С. С.* О колорите / С. С. Алексеев. – М. : Изобразительное искусство, 1974.
23. *Зайцев, А. А.* Наука о цвете и живопись / А. А. Зайцев. – М. : Искусство, 1986.
24. *Рабкин, Е. Б.* Атлас цветов / Е. Б. Рабкин. – М. : Медгиз, 1956.
25. *Hunt, R. W. G.* The Reproduction of Color (2nd ed.) / R. W. G. Hunt. – Chichester : John Wiley & Sons, 2004.
26. *Wyszecki, G.* Color Science : Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae (2nd ed.) / G. Wyszecki, W. S. Stiles. – N. Y. : Wiley Interscience, 1982.
27. *Mark, D. Fairchild.* Color Appearance Models / D. Mark. – Addison Wesley Longman, 1998.
28. *Новаковский, С. В.* Цвет в цветном телевидении / С. В. Новаковский. – М. : Радио и связь, 1988.
29. *Новаковский, С. В.* Новые системы телевидения. Цифровые методы обработки / С. В. Новаковский, А. В. Котельников. – М. : Радио и связь, 1992.
30. *Ярбус, А. Л.* Роль движений глаз в процессе зрения / А. Л. Ярбус. – М. : Наука, 1965.
31. *Луизов, А. В.* Инерция зрения / А. В. Луизов. – Оборонгиз, 1961.
32. *Базыма, Б. А.* Цвет и психика / Б. А. Базыма. – Харьков : Речь, 2001.
33. *Гёте, И. В.* Трактат о цвете / И. В. Гёте // Избранные сочинения по естествознанию. – М. : 1957.
34. *Миронова, Л. Н.* Семантика цвета в эволюции психики человека / Л. Н. Миронова // Проблема цвета в психологии. – М. : 1993.
35. *Миронова, Л. Н.* Цвет в изобразительном искусстве / Л. Н. Миронова. – Мн. : Беларусь, 2002.
36. *Тэрнер, В. У.* Проблема цветовой классификации в примитивных культурах (на материале ритуала Ндембу) / В. У. Тэрнер // Семиотика и искусствознание. – М. : 1972.
37. *Тэрнер, В. У.* Символ и ритуал / В. У. Тэрнер. – М. : Наука, 1983.
38. *Фойгт, В. И. В.* Гёте – естествоиспытатель / В. Фойгт, У. Зуккер ; пер. с нем. – Киев, 1983.
39. *Кандинский, В.* О духовном в искусстве / В. Кандинский // Психология цвета ; пер. с англ. – М. : Рефл-бук, К. : Ваклер, 1996.
40. *Обухов, Я. Л.* Красный цвет / Я. Л. Обухов // Журнал практического психолога, 1996. – № 5.
41. *Обухов, Я. Л.* Синий цвет / Я. Л. Обухов // Журнал практического психолога, 1996. – № 6.
42. *Фрумкина, Р. М.* Цвет, смысл, сходство / Р. М. Фрумкина. – М. : Наука, 1984.
43. *Иттен, И.* Искусство цвета / И. Иттен. – М. : Издатель Д. Аронов. 2004.
44. *Роу, К.* Концепция цвета и цветовой символизм в древнем мире / К. Роу // Психология цвета. – М. : 1996. – С. 7.
45. *Буланова, Н.* Символика цвета на Востоке / Н. Буланова // Азия и Африка сегодня. – 1983. – № 8.