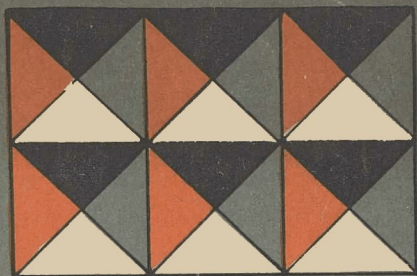
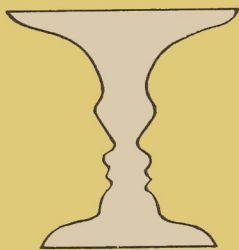
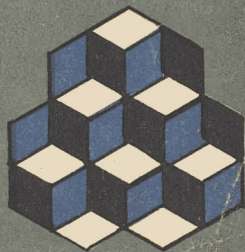
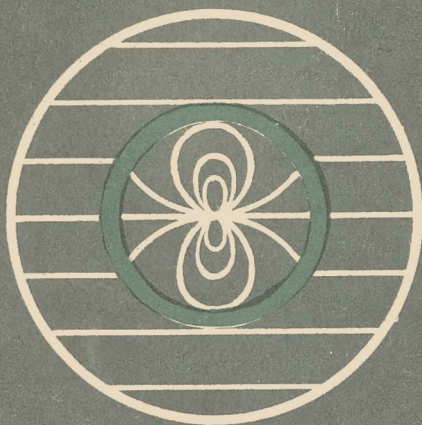
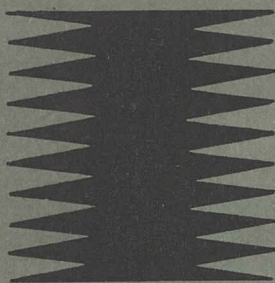


И. Д. АРТАМОНОВ



зрения

ИЛЛЮЗИИ



И. Д. АРТАМОНОВ

ИЛЛЮЗИИ ЗРЕНИЯ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1969

АННОТАЦИЯ

Глаз человека — этот самый точный и наиболее чувствительный орган наших ощущений — способен ошибаться.

В жизни встречается множество иллюзий (ошибок) зрения. Некоторые из них нам нежелательны, и мы ведем с ними борьбу; иные воспринимаем как забавные, а некоторые применяем с пользой для себя.

Об этом в популярной форме и рассказывает предлагаемая книга.

ВВЕДЕНИЕ

Существуют две точки зрения на несовершенство нашего зрительного аппарата.

Одна из них — идеалистическая, стремящаяся сделать вывод о невозможности познания объективного мира и о полном недоверии к нашим органам чувств вследствие отклонений чувственно воспринимаемых нами зрительных образов от реальности.

Другая — материалистическая, утверждающая, что наши чувственные восприятия лишь одна, первая, но не самая главная ступень познания. За чувственными восприятиями следует мышление, обобщающее и перерабатывающее данные ощущения. Основная ступень в процессе познания — это практика, или общественно-исторический опыт, позволяющий нам устанавливать объективные законы внешнего мира и углублять наши познания.

«От живого созерцания, — говорит Ленин, — к абстрактному мышлению и от него к практике — таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности»*).

Крупнейший немецкий физиолог XIX века Г. Гельмгольц справедливо указал на оптические несовершенства нашего глаза, говоря: «Если бы оптик захотел продать мне инструмент, обладающий поименованными недостатками, то я в сильнейших выражениях высказал бы неодобрение его работе и возвратил бы ее обратно». Однако он же выдвинул и чисто идеалистическое положение о роли ощущений в процессе познания: «Я обозначил ощущения как символы внешних явлений и отверг за ними всякую аналогию с вещами, которые они представляют».

Ф. Энгельс, критикуя точку зрения Гельмгольца, указывал, что «...специальное устройство человеческого глаза

*) Ленин В. И., Философские тетради, Госполитиздат, 1947, стр. 146—147.

не является абсолютной границей для человеческого познания. К нашему глазу присоединяются не только еще другие чувства, но и деятельность нашего мышления»^{*}).

Еще полнее и отчетливее материалистическое понимание роли ощущений в процессе познания изложено В. И. Лениным в книге «Материализм и эмпириокритицизм»: «Бесспорно, что изображение никогда не может всецело сравниться с моделью, но одно дело изображение, другое дело символ, *условный знак*. Изображение необходимо, неизбежно предполагает объективную реальность того, что «отображается». «Условный знак», символ, иероглиф суть понятия, вносящие совершенно ненужный элемент агностицизма»^{**}). В. И. Ленин говорит, что отображение есть приблизительное, но «произвольным» его назвать нельзя, ибо наши ощущения отражают, копируют, фотографируют объективную реальность.

Тот факт, что огромное большинство людей получает иногда одинаковые ошибочные зрительные впечатления, говорит об объективности нашего зрения и о том, что оно, дополняемое мышлением и практикой, дает нам относительно точные сведения о предметах внешнего мира. Тот же факт, что разные люди в процессе зрительного восприятия обладают различной способностью ошибаться, иногда видят в предметах то, чего не замечают другие, говорит о субъективности наших зрительных ощущений и об их относительности.

Говоря в общем о причинах зрительных иллюзий (ошибок, обманов), следует, во-первых, указать, что иногда они появляются вследствие специально созданных, особых условий наблюдения, например: наблюдение одним глазом, наблюдение при неподвижных осях глаз, наблюдение через щель и т. п. Такие иллюзии исчезают при устранении необычных условий наблюдения.

Во-вторых, подавляющее большинство иллюзий зрения возникает не из-за оптических несовершенств глаза, а из-за ложного суждения о видимом, поэтому можно считать, что обман здесь наступает при осмысливании зрительного образа. Такие иллюзии исчезают при изменении условий наблюдения, при выполнении простейших сравнитель-

^{*}) Э н г е л ь с Ф., Диалектика природы, Госполитиздат, 1950, стр. 190.

^{**}) Л е н и н В. И., Соч., изд. 4-е, т. 14, стр. 223.

ных измерений, при исключении некоторых факторов, мешающих правильному восприятию.

Наконец, известен ряд иллюзий, обусловленных и оптическим несовершенством глаза, и некоторыми особыми свойствами различных анализаторов, участвующих в зрительном процессе (сетчатка, рефлекс нервов). Возможны некоторые искажения зрительных ощущений в результате близорукости, дальновидности, дальтонизма и других дефектов зрительного аппарата, не характерных для большинства людей. Восприятие помещенного в книге материала людьми с разными зрительными способностями может не соответствовать изложению полностью, поскольку изложение в основном рассчитано на читателей с нормальным зрением.

В I части книги не рассматриваются оптические фокусы и загадочные привидения, создаваемые при помощи зеркал, проекционных аппаратов и других технических устройств в театрах, кино и цирках, а также интересные оптические явления, иногда наблюдаемые в природе (миражи, гало, венцы). Появление последних обусловлено оптическими свойствами земной атмосферы. Во всех этих случаях наш глаз ошибается потому, что его умышленно обманывают или при помощи технических приспособлений, или за счет особого состояния среды между глазом и объектом наблюдения. В эту группу мы не включаем обманы зрения, возникающие у некоторых людей в сумерках и темноте, когда недостаточное освещение затрудняет работу глаз и создает особое настроение.

Марксистско-ленинский диалектический метод познания учит нас рассматривать недостатки зрительных ощущений в связи с положительным значением зрения в процессе познания, в связи с огромным многообразием явлений внешнего мира, воспринимаемых нашим зрением. Оказывается, устранение некоторых недостатков нашего зрительного аппарата привело бы к целому ряду новых, еще более разительных иллюзий. Блестящее подтверждение этого положения мы находим в работах по эволюции зрения и по сравнительной физиологии зрения человека и животных, птиц, насекомых.

Исследования И. П. Павлова показали, что собаки обладают способностью различать ничтожные колебания яркости, но цветовое зрение у собак существует лишь в зачаточной форме, а у многих из них и совсем отсутствует.

Острота зрения у многих птиц больше, чем у человека, но известно, что животные, обладающие высокой остротой зрения, страдают ночной слепотой, а животные с хорошо развитым сумеречным зрением — низкой остротой зрения.

Таким образом, зрение человека — замечательный дар природы, ему мы обязаны познанием многих явлений окружающего нас мира; оно по сумме своих качеств превосходит зрение других живых организмов, а присущие ему недостатки противоречиво обращаются в преимущества.

В настоящей книге описываются иллюзии (обманы, ошибки) зрения, возникающие благодаря особым оптическим свойствам нашего глаза, некоторым свойствам его сетчатки и определенной последовательности процесса зрительного восприятия. Описываются также случаи неточного (кажущегося) зрительного восприятия, обусловленные некоторыми геометрическими особенностями рассматриваемых объектов и возникающие часто из-за того, что заданы особые условия наблюдения. Речь здесь идет об иллюзиях зрения, связанных с устройством глаза, психологией и физиологией зрения. Многие иллюзии возникают независимо от сознания, самопроизвольно; зато и обнаруживаются очень просто при изменении условий наблюдения или при помощи весьма простых приспособлений.

Задача этой книги состоит не только в простом показе зрительных иллюзий, но и в объяснении их на основе известных в настоящее время сведений о зрительном аппарате человека и в указании способов исключения иллюзий при изменении внешних условий наблюдения.

Все иллюзии классифицированы по группам так, что в одной группе находятся ошибки, обусловленные одним и тем же свойством нашего органа зрения или одним и тем же выработанным практикой приемом зрительного восприятия. Это позволило для каждой группы иллюзий привести, возможно и неисчерпывающие, объяснения причин их появления.

Приведенные здесь иллюзии могут встретиться в практике работы архитекторов и художников, работников театра и кино, оформителей книг и светотехников, конструкторов и астрономов и работников других специальностей.

Во II части книги рассматриваются оптические иллюзии, т. е. необычные, иногда очень удивительные зрительные впечатления, создаваемые с использованием различных современных оптических и светотехнических приборов и ма-

териалов (зеркал, стекол, проекционных аппаратов, светопроводов, светящихся красок и т. п.).

Эти иллюзии («иллюзионы» — как их еще называют) могут быть отнесены к оптическим, потому что здесь в большинстве случаев зрительный обман может быть раскрыт с помощью законов оптики и характерных световых явлений. Иногда существенное значение для создания оптической иллюзии имеют особые условия наблюдения, продиктованные устройителями иллюзиона.

Наиболее широкое применение оптические иллюзии находят в современных зрелищных предприятиях. Здесь встречаются следующие характерные виды иллюзий:

1) появление и исчезновение небесных светил (восход и заход солнца, заря, луна, мерцающие звезды, появление и полет комет и т. п.);

2) возникновение различных атмосферных явлений на сцене (дождь, снег, метель, радуга, облака, молнии и др.);

3) появление спокойной или волнующейся водной поверхности в дневных условиях или ночью;

4) возникновение на сцене различных огней (костры, печи, камины, свечи, факелы, пожары, светильники, фейерверки и т. п.);

5) появление на сцене и исчезновение по ходу действия сказочного или фантастического сюжета привидений, теней подвижных и неподвижных фигур и т. п.;

6) внезапное изменение окраски одежды актеров, фона или некоторых деталей декораций.

В современном кино для воспроизведения на экране сказочных или фантастических явлений, необычных масштабных соотношений между актерами или элементами обстановки применяются также различные оптические приспособления, причем чаще всего при съемке и реже при демонстрации фильмов. Многие необычные явления на экране принято называть «чудесами кино».

В цирке и на эстраде оптическими иллюзиями широко пользуются иллюзионисты-фокусники, а также инженеры и техники сцены для создания некоторых аттракционов.

В клубах, домах культуры, парках и местах народных торжеств организуются так называемые «комнаты смеха», иллюминации, фейерверки и пр., в которых также используются возможности появления оптических иллюзий.

Таким образом, не так уж редко нам приходится встречаться с некоторыми не совсем обычными оптическими

явлениями и иногда очень любопытно знать как, при помощи каких устройств воспроизводятся оптические иллюзии.

Заметим, что применяемая во всех указанных выше случаях аппаратура редко бывает специальной, а чаще всего она применяется и по другим назначениям и даже в других областях техники освещения, световой сигнализации и т. д.

Во II части довольно много встречающихся оптических иллюзий, но, конечно, многие не известны автору и оставлены им без внимания. Поэтому пусть читатель не обидится, если он встретит в жизни случай ложного или необычного зрительного впечатления и не найдет ему объяснения на этих страницах.

Часть первая
ИЛЛЮЗИИ ЗРЕНИЯ, ПОЯВЛЯЮЩИЕСЯ
«САМОПРОИЗВОЛЬНО»

1. Краткие сведения об устройстве глаза
и зрительных ощущениях

Глаз человека представляет собой почти шарообразное тело, которое покоится в костной черепной полости, открытой с одной стороны. На рис. 1 изображен разрез *глазного яблока* и показаны основные детали глаза.

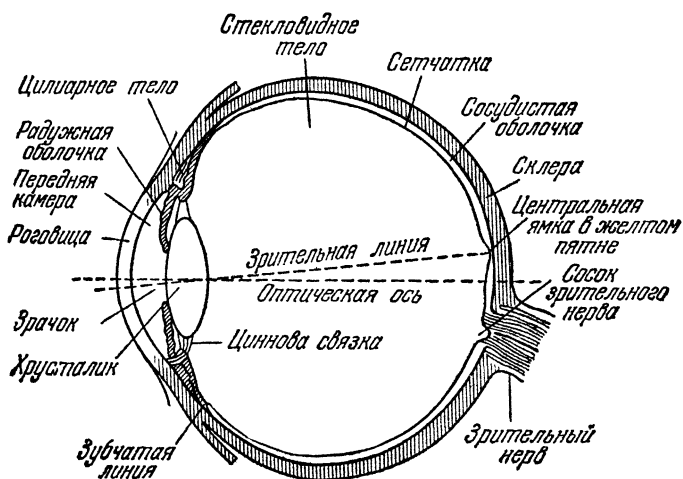


Рис. 1. Схематический разрез глаза человека.

Основная часть *глазного яблока* с внешней стороны ограничена трехслойной оболочкой. Внешняя твердая оболочка называется *склерой* (по-гречески — твердость), или *белковой оболочкой*. Она охватывает со всех сторон внутреннее содержание глаза и непрозрачна на всем своем

протяжении, за исключением передней части. Здесь склера выдается вперед, совершенно прозрачна и носит название *роговой оболочки*.

К склере примыкает *сосудистая оболочка*, переполненная кровеносными сосудами. В передней части глаза, там, где склера переходит в роговую оболочку, сосудистая оболочка утолщается, отходит под углом от склеры и направляется к середине передней камеры, образуя поперечную *радужную оболочку*.

Если задняя сторона радужной оболочки окрашена только в черный цвет, глаза кажутся синими, чернота просвечивает через кожицу синевагим отливом, подобно жилам на руках. Если бывают еще другие цветные включения, что зависит и от количества черного цветного вещества, то глаз нам кажется зеленоватым, серым и карим и т. д. Когда в радужной оболочке нет никакого цветного вещества (как, например, у белых кроликов), то она нам кажется красной от крови, заключенной в пронизывающих ее кровеносных сосудах. В этом случае глаза плохо защищены от света — они иногда страдают светобоязнью (альбинизмом), но в темноте превосходят по остроте зрения глаза с темной окраской.

Радужная оболочка отделяет передний выпуклый сегмент глаза от его остальной части и имеет отверстие, называемое *зрачком*. Сам зрачок глаза черен по той же причине, что и окна соседнего дома при дневном освещении, которые кажутся нам черными, потому что прошедший через них снаружи свет почти не выходит обратно. Зрачок пропускает внутрь глаза в каждом отдельном случае определенное количество света. Зрачок увеличивается и уменьшается независимо от нашей воли, но в зависимости от условий освещения. Зрачок при больших яркостях поля зрения имеет диаметр порядка 1,5 мм, в темноте же он увеличивается до 7—8 мм и таким образом *светосила* глаза *) (при неизменном его фокусном расстоянии), а значит и яркость изображения на сетчатке (при неизменной яркости рассматриваемых предметов) увеличиваются в 25 раз. Заметим, что фотоаппараты располагают сейчас значительно большими возможностями.

*) Светосилой оптического прибора (в частности, глаза) называют квадрат «относительного светового отверстия», т. е. квадрат отношения диаметра зрачка к фокусному расстоянию.

Явление приспособления глаза к яркости поля зрения называется *адаптацией*. Однако основную роль в процессе адаптации играет не зрачок, а сетчатка.

Сетчаткой называется третья, внутренняя оболочка, представляющая собой свето- и цветочувствительный слой. Несмотря на незначительную толщину, она имеет очень сложную и многослойную структуру. Светочувствительная часть сетчатки состоит из нервных элементов, заключенных в особую поддерживающую их ткань. Светочувствительность сетчатки не на всем ее протяжении одинакова. Сетчатка представляет собой разветвления по дну глаза нервных волокон, которые затем сплетаются между собой и образуют *зрительный нерв*, который сообщается с головным мозгом человека. Основными элементами зрительного восприятия являются два вида клеток, не имеющих длинных нервных отростков: одни в виде стебелька и относительно длинные, называемые палочками, и другие более короткие и более толстые, называемые колбочками.

Палочки и колбочки через подходящие к ним нервные волокна, через зернистые слои сетчатки и ганглиозные клетки (нервные узлы), связаны с разветвлениями зрительного нерва. Около 130 миллионов палочек и 7 миллионов колбочек насчитывают на сетчатке. Как палочки, так и колбочки очень малы и видны только при увеличении в 150—200 раз под микроскопом: толщина палочек около 2 микрон (0,002 мм), а колбочек 6—7 микрон (мм). В месте наиболее отчетливого и резкого видения сетчатки при дневном освещении против зрачка расположены почти одни колбочки, плотность их здесь достигает 100 000 на 1 мм². Здесь находится так называемая центральная ямка диаметром 0,4 мм. Вследствие этого глаз обладает способностью различать мельчайшие детали лишь только в центре поля зрения, ограничиваемом углом в 1°,3. Так, например, опытные шлифовщики различают просветы в 0,6 мм, тогда как обычно человек способен заметить просвет в 10 мм.

Ближайшая к центральной ямке область, так называемое желтое пятно, имеет угловое протяжение 6—8°. Палочки расположены в пределах всей сетчатки, причем наибольшая концентрация их наблюдается в зоне, смещенной на 10—12° от центра. Здесь на одно волокно зрительного нерва приходится несколько десятков и даже сотен палочек. Периферическая часть сетчатки служит для

общей зрительной ориентировки в пространстве. Кроме того, преобладание палочек на этой части сетчатки объясняет секрет видения в темноте, когда для лучшего различения предмета надо смотреть не на него, а чуть в сторону.

При помощи специального глазного зеркала, предложенного Г. Гельмгольцем, можно видеть на сетчатке второе пятно, имеющее белую окраску. Это пятно расположено на месте ствола зрительного нерва, и так как здесь уже нет ни колбочек, ни палочек, то этот участок сетчатки не чувствителен к свету и называется поэтому *слепым пятном*. Слепое пятно сетчатки имеет диаметр 1,88 мм, что соответствует 6° по углу зрения. Это значит, что человек с расстояния 1 м может не видеть предмета, имеющего диаметр около 10 см, если изображение этого предмета проектируется на слепое пятно. Палочки и колбочки различаются по своим функциям: палочки обладают большой чувствительностью, но не «различают» цветов и являются *аппаратом сумеречного зрения*, т. е. зрения при слабом освещении; колбочки чувствительны к цветам, но зато менее светочувствительны и поэтому являются *аппаратом дневного зрения*.

У многих животных за сетчаткой находится тонкий мерцающий зеркальный слой, усиливающий действие попадающего в глаз света путем отражения. Глаза таких животных блестят в темноте как раскаленные уголья. Речь идет не о полной темноте, где это явление, конечно, наблюдаться не будет.

Адаптация зрения является сложным процессом переключения глаза с работы колбочковым аппаратом на палочковый (темновая адаптация) или наоборот (световая адаптация). При этом до сих пор остаются неизвестными процессы изменения концентрации светочувствительных элементов в клетках сетчатки, когда чувствительность ее повышается при темновой адаптации в десятки тысяч раз, а также и прочие изменения свойств сетчатки в различных фазах адаптации. Фактические данные процесса адаптации определены достаточно строго и могут быть здесь приведены. Так, в процессе темновой адаптации чувствительность глаза к свету сначала быстро повышается, и это продолжается около 25—40 мин, причем время зависит от уровня начальной адаптации. При длительном пребывании в темноте чувствительность глаза к свету повышается в 50 000 раз и достигает *абсолютного светового порога*.

Выражая абсолютный порог в люксах освещенности на зрачке, получают в среднем величину порядка 10^{-9} лк (люкс). Это значит, грубо говоря, что в условиях полной темноты наблюдатель смог бы заметить свет от одной стеариновой свечи, удаленной от него на расстояние 30 км. Чем выше яркость начального поля адаптации, тем медленнее приспособливается глаз к темноте, и в этих случаях пользуются понятием *относительных порогов чувствительности*.

При обратном переходе от темноты к свету процесс адаптации до восстановления некоторой «постоянной» чувствительности длится всего лишь 5—8 мин, и чувствительность колбочкового аппарата изменяется всего лишь в 20—40 раз. Таким образом, адаптация — это не просто изменение диаметра зрачка, но и сложные процессы на сетчатке и в связанных с нею через зрительный нерв участках коры головного мозга.

Сразу же за зрачком глаза расположено совершенно прозрачное, эластичное тело, заключенное в особую сумку, прикрепленную к радужной оболочке системой мышечных волокон. Это тело имеет форму собирательной двояковыпуклой линзы и носит название *хрусталика*. Назначение хрусталика состоит в том, чтобы преломлять световые лучи и давать на сетчатке глаза ясное и отчетливое изображение предметов, находящихся в поле зрения.

Следует заметить, что в образовании изображения на сетчатке, кроме хрусталика, принимают участие и роговица, и внутренние полости глаза, заполненные средами с показателями преломления, отличающимися от единицы. Имея в виду процесс образования изображения на сетчатке глаза с помощью его сложной оптической системы, можно условно заменить эту систему приведенной, допустим, к одной линзе (хрусталику).

Преломляющая способность всего глаза в целом, а также отдельных частей его оптической системы зависит от радиусов ограничивающих их поверхностей, от показателей преломления веществ и взаимного расстояния между ними. Все эти величины для разных глаз имеют различные значения, поэтому и оптические данные разных глаз различны. В связи с этим вводится понятие схематического или приведенного (редуцированного) глаза, у которого: радиус кривизны преломляющей поверхности 5,73 мм, показатель преломления 1,336, длина глаза 22,78 мм,

переднее фокусное расстояние 17,054 мм, заднее фокусное расстояние 22,78 мм.

Хрусталик глаза образует на сетчатке (так же как объектив фотоаппарата на матовой пластинке) перевернутое изображение тех предметов, на которые мы смотрим. В этом легко убедиться. Возьмем кусок плотной бумаги или почтовую открытку и проколем в ней булавкой маленькое отверстие. Затем поставим булавку головкой вверх

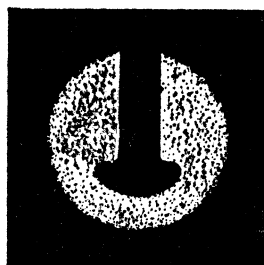


Рис. 2.

на расстояние 2—3 см от глаза и будем смотреть этим глазом через отверстие в бумаге, поставленной на расстоянии 4—5 см, на яркое дневное небо или на лампу в молочной колбе. Если подобраны благоприятные для данного глаза расстояния между глазом и булавкой, булавкой и бумагой, то в светлом отверстии мы будем видеть то, что изображено на рис. 2. Тень булавки на сетчатке будет прямой, но изображение булавки нам будет казаться перевернутым. Любое перемещение булавки в стороны будет

восприниматься нами как перемещение ее изображения в обратном направлении. Очертание булавочной головки, не очень четкое, будет казаться при этом находящимся по ту сторону листка бумаги.

Тот же опыт можно сделать иным способом. Если в куске плотной бумаги проколоть три отверстия, расположенные в вершинах равностороннего треугольника со сторонами, приблизительно равными 1,5—2 мм, и затем расположить, так же как и ранее, булавку и бумагу перед глазом, то будут видны три обратных изображения булавки. Эти три изображения образуются благодаря тому, что лучи света, проходящие через каждое из отверстий, не пересекаются, так как отверстия находятся в передней фокальной плоскости хрусталика. Каждый пучок дает прямую тень на сетчатке, и каждая тень воспринимается нами как перевернутое изображение.

Если приставить к глазу бумагу с тремя отверстиями, а к источнику света — бумагу с одним отверстием, то наш глаз будет видеть обращенный треугольник. Все это убедительно доказывает, что наш глаз все предметы воспринимает в прямом виде потому, что рассудок

переворачивает их изображения, получающиеся на сетчатке.

Еще в начале 20-х годов американец А. Стрэттон и в 1961 г. профессор Калифорнийского института доктор Ирвин Муд поставили на себе интересный эксперимент. В частности, И. Муд надел плотно прилегающие к лицу специальные очки, через которые видел все так, как на матовом стекле фотоаппарата. Восемь дней он, проходя несколько десятков шагов, ощущал симптомы морской болезни, путал левую сторону с правой, верх и низ. А потом, хотя очки по-прежнему были перед глазами, снова увидел все таким, каким видят все люди. Ученый снова обрел свободу движений и способность к быстрой ориентировке. В своих очках он проехал на мотоцикле по самым оживленным улицам Лос-Анжелоса, водил автомобиль, пилотировал самолет. А затем Муд снял очки — и мир вокруг него опять «перевернулся». Пришлось ждать еще несколько дней, пока все вошло в норму. Эксперимент еще раз подтвердил, что воспринимаемые зрением образы попадают в мозг не такими, какими их передает на сетчатку оптическая система глаза. Зрение — это сложный психологический процесс, зрительные впечатления согласуются с сигналами, получаемыми другими органами чувств. Требуется время, прежде чем вся эта сложная система настроится и начнет функционировать нормально.

Поскольку сетчатка не является плоским экраном, а имеет скорее сферическую форму, то и изображение на ней не будет плоским. Однако и этого мы не замечаем в процессе зрительного восприятия, так как наш рассудок способствует тому, чтобы мы воспринимали предметы такими, какие они есть в действительности.

Сумка, в которой укреплен хрусталик, представляет собой кольцеобразную мышцу. Эта мышца может находиться в состоянии натяжения, что заставляет хрусталик принимать наименее искривленную форму. Когда натяжение этой мышцы уменьшается, хрусталик под действием упругих сил увеличивает свою кривизну. Когда хрусталик растянут, он дает на сетчатке глаза резкое изображение предметов, находящихся на больших расстояниях; когда же он не растянут и кривизна его поверхностей велика, то на сетчатой оболочке глаза получается резкое изображение близких предметов. Изменение кривизны хрусталика и приспособление глаза к отчетливому восприятию

далеких и близких предметов представляет собой еще одно весьма важное свойство глаза, которое называется *аккомодацией*.

Явление аккомодации легко наблюдать следующим образом: будем смотреть одним глазом вдоль натянутой длинной нити. При этом, желая видеть близкие и дальние участки нити, мы будем менять кривизну поверхностей хрусталика. Заметим, что на расстоянии до 4 см от глаза нить вообще не видна; только начиная с 10—15 см мы ее видим четко и хорошо. Это расстояние различно для людей молодых и старых, для близоруких и дальнозорких, причем для первых оно меньше, а для вторых больше. Наконец, наиболее удаленная от нас часть нити, видимая четко при данных условиях, будет также различно удалена для этих людей. Близорукие люди не будут видеть нить далее 3 м.

Оказывается, например, что для рассматривания одного и того же печатного текста у различных людей будут различные расстояния наилучшего видения. Расстояние наилучшего видения, на котором нормальный глаз испытывает наименьшее напряжение при рассматривании деталей предмета, составляет 25—30 см.

Пространство между роговицей и хрусталиком известно под названием *передней камеры глаза*. Эта камера заполнена студенистой прозрачной жидкостью. Вся внутренность глаза между хрусталиком и глазным нервом заполнена несколько иного рода стекловидным телом. Являясь средой прозрачной и преломляющей, это *стекловидное тело* в то же время способствует сохранению формы глазного яблока.

В заключении к своей книге «О летающих тарелках» американский астроном Д. Мензел пишет: «Во всяком случае помните, что летающие тарелки: 1) действительно существуют; 2) их видели; 3) но они совсем не то, за что их принимают».

В книге описаны многие факты, когда наблюдатели видели летающие тарелки или подобные им необычные светящиеся предметы, и приведено несколько исчерпывающих объяснений различных оптических явлений в атмосфере. Одним из возможных объяснений появления в поле зрения светящихся или темных предметов могут быть так называемые *энтоптические* *) явления в глазу, заключающиеся в следующем.

*) Энт — от греческого внутренняя.

Иногда, устремляя взгляд на яркое дневное небо или на освещенный солнцем чистый снег, мы видим одним глазом или двумя маленькие темные кружочки, которые опускаются вниз. Это не обман зрения и не какой-либо недостаток глаза. Небольшие включения в стекловидное тело глаза (например, крошечные сгустки крови, попавшие туда из кровеносных сосудов сетчатки) при фиксации взгляда на очень светлый фон отбрасывают тени на сетчатку глаза и становятся ощутимыми. Каждое движение глаза как бы подбрасывает эти мельчайшие частички, а потом они под действием силы тяжести опускаются.

Предметы самого различного вида, например пылинки, могут находиться на поверхности нашего глаза. Если такая пылинка попадет на зрачок и будет озарена ярким светом, она покажется большим светлым шаром с неясными очертаниями. Ее можно принять за летающую тарелку, и это уж будет иллюзия зрения.

Подвижность глаза обеспечивается действием шести мышц, прикрепленных, с одной стороны, к главному яблоку, а с другой — к глазной орбите.

Когда человек рассматривает, не поворачивая головы, неподвижные предметы, расположенные в одной фронтальной плоскости, то глаза или остаются неподвижными (фиксированными) или быстро меняют точки фиксации скачками. А. Л. Ярбусом разработана точная методика определения последовательных перемещений глаза при рассматривании различных предметов. В результате опытов установлено, что глаза остаются неподвижными 97% времени, но зато время, затраченное на каждый акт фиксации, мало (0,2—0,3 сек), и в течение одной минуты глаза могут менять точки фиксации до 120 раз. Интересно, что у всех людей продолжительность скачков (для одних и тех же углов) совпадает с изумительной точностью: $\pm 0,005$ сек. Продолжительность скачка не зависит от попыток наблюдателя «совершить» скачок побыстрее или помедленнее. Она зависит только от величины угла, на который совершается скачок. Скачки обоих глаз совершаются синхронно.

Когда человек «плавно» обводит взором 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.

При чтении глаз читающего останавливается не на каждой букве, а только на одной из четырех — шести, и, несмотря на это, мы понимаем смысл прочитанного. Очевидно, при этом используется заранее накопленный опыт и сокровища зрительной памяти.

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

Укажем вкратце на другие свойства глаза, которые имеют отношение к нашей теме.

На сетчатой оболочке глаза получается изображение рассматриваемых предметов, причем всегда предмет нам виден на том или ином фоне. Это означает, что некоторая часть светочувствительных элементов сетчатки раздражается световым потоком, распределенным по поверхности изображения предмета, а окружающие светочувствительные элементы раздражаются потоком от фона. Способность глаз обнаруживать рассматриваемый объект по его контрасту с фоном называется *контрастной чувствительностью глаза*. Отношение разности яркостей предмета и фона к яркости фона называется *контрастом яркости*. Контраст увеличивается, когда при неизменной яркости фона увеличивается яркость объекта или при неизменной яркости объекта уменьшается яркость фона *).

Способность глаза различать форму предмета или его детали называют *остротой различения*. Если изображение двух близких точек на сетчатой оболочке глаза возбудит соседние светочувствительные элементы (причем если разность яркостей этих элементов выше *пороговой разности яркостей*, а между изображениями точек будет хотя бы один иначе возбужденный элемент), то эти две точки видны раздельно. Наименьший размер видимого предмета определяется наименьшим размером его изображения на сетчатке глаза. Для нормального глаза этот размер равен 3,6 мм. Такое изображение получается от предмета размером 0,06 мм, расположенного на расстоянии 25 см от глаза.

*) В случае, когда яркость объекта меньше яркости фона, разность яркости условно считается отрицательной.

Правильнее определить предел углом зрения; для указанного случая он составит 50 угловых минут. Для больших расстояний и ярко светящихся предметов предельный угол зрения уменьшается. Условно считается, что острота различения равна единице, если минимальный угол между двумя точками, при котором эти точки видны раздельными, равен одной минуте. Это относится как к двум рассматриваемым светящимся точкам, так и к двум штрихам или линиям. Пороговой разностью яркостей в данных условиях мы называем наименьший перепад яркостей, воспринимаемый нашим глазом.

Практически глаз обнаруживает разность яркостей в 1,5—2%, а в благоприятных условиях до 0,5—1%. Однако пороговая разность яркостей сильно зависит от многих причин: от яркости, к которой глаз был предварительно приспособлен, от яркости фона, на котором будут видны сравниваемые поверхности. Замечено, что сравнивать темные поверхности лучше на фоне более темном, чем сравниваемые поверхности, а светлые поверхности, наоборот, — на более ярком фоне.

Источники света, находящиеся достаточно далеко от глаза, мы называем «точечными», хотя в природе светящихся точек не существует. Видя эти источники, мы ничего не можем сказать о их форме и диаметре, они нам кажутся лучистыми, как и далекие звезды. Эта иллюзия зрения обусловлена недостаточной остротой различения (разрешающей способностью) глаза.

Во-первых, вследствие неоднородности хрусталика лучи, проходящие через него, преломляются так, что звезды окружаются лучистым ореолом.

Во-вторых, изображение звезды на сетчатке настолько мало, что не перекрывает двух светочувствительных элементов, разделенных хотя бы одним нераздраженным элементом. Разрешающая способность глаза увеличивается при помощи оптических приборов наблюдения и, в частности, телескопов, через которые, например, все планеты видны нам как круглые тела.

Приведение осей обоих глаз в положение, необходимое для наилучшего восприятия расстояний, называется *конвергенцией*. Результат действия мышц, перемещающих глаз для лучшего видения близких и дальних предметов, можно наблюдать следующим образом. Если мы будем смотреть через сетку на окно, то неясные отверстия сетки

будут нам казаться большими, а если же смотреть на карандаш перед этой сеткой, то отверстия сетки будут казаться значительно меньшими.

Точки сетчаток двух глаз, обладающие тем свойством, что раздражающий объект виден нам находящимся в одной точке пространства, называются *корреспондирующими*.

Благодаря тому что два наших глаза находятся на некотором расстоянии и их оптические оси скрещиваются определенным образом, изображения предметов на разных (некорреспондирующих) участках сетчаток получаются тем более отличными одно от другого, чем ближе к нам находится рассматриваемый предмет. Автоматически, как нам кажется, как бы без участия сознания, мы учитываем эти особенности изображений на сетчатках, и по ним не только судим об удаленности предмета, но и воспринимаем рельеф и перспективу. Эта способность нашего зрения называется *стереоскопическим эффектом* (греческое стерео — объем, телесность). Нетрудно понять, что наш мозг при этом так же выполняет определенную работу, как и при переворачивании изображения предмета на сетчатке.

Наш орган зрения обладает еще одним замечательным свойством: он различает огромное многообразие цветов предметов. Современная теория *цветового зрения* объясняет эту способность глаза наличием на сетчатой оболочке трех видов первичных аппаратов.

Видимый свет (волны электромагнитных колебаний длиной от 0,38 до 0,78 мкм) возбуждает эти аппараты в разной степени. Опыт установлено, что колбочковый аппарат обладает наибольшей чувствительностью к желто-зеленым излучениям (длина волны 0,555 мкм). В условиях же действия сумеречного (палочкового) аппарата зрения максимум чувствительности глаза смещается в сторону более коротких волн фиолетово-синего участка спектра на 0,45—0,50 мкм. Эти возбуждения первичных аппаратов сетчатки обобщаются корой головного мозга, и мы воспринимаем определенный цвет видимых предметов.

Все цвета принято делить на хроматические и ахроматические. Каждый хроматический цвет имеет цветовой тон, чистоту цвета и яркость (красный, желтый, зеленый и т. д.). Ахроматические цвета в сплошном спектре отсутствуют — они бесцветны и отличаются друг от друга только

яркостью. Эти цвета образуются благодаря избирательному отражению или пропусканию дневного света (белый, все серые и черный цвет). Текстильщики, например, способны различать до 100 оттенков черного цвета.

Таким образом, зрительные ощущения позволяют нам судить о цвете и яркости предметов, о их размерах и форме, о их движении и взаимном расположении в пространстве. Следовательно, и восприятие пространства является в основном функцией зрения.

В этой связи уместно остановиться еще на одном способе определения взаимного расположения предметов в пространстве — на способе зрительного параллакса.

Расстояние до предмета оценивают или по тому углу, под которым виден этот предмет, зная угловые размеры других видимых предметов, или пользуясь стереоскопической способностью зрения, которая и создает впечатление рельефности. Оказывается, что на удалении, большем 2,6 км, рельеф уже не воспринимается. Наконец, расстояние до предмета оценивается просто степенью изменения аккомодации или путем наблюдения положения этого предмета по отношению к положению других предметов, находящихся на известных нам расстояниях.

При ложном представлении о размере предмета можно допустить большую ошибку в определении расстояния до него. Оценка расстояния с помощью обоих глаз значительно точнее, чем при помощи одного глаза. Один глаз оказывается полезнее, чем два при определении направления на предмет, например при прицеливании. Когда глаз рассматривает не предмет, а изображение, полученное с помощью линз или зеркал, то все указанные выше способы определения расстояния до предмета иногда оказываются неудобными, а то и вовсе непригодными.

Как правило, размеры изображения совершенно не совпадают с размерами самого предмета, поэтому ясно, что мы не можем судить о расстоянии по видимым размерам изображения. При этом очень трудно отделить изображение от самого предмета, и это обстоятельство может явиться причиной очень сильного оптического обмана. Например, предмет, рассматриваемый через вогнутые чечевицы, кажется находящимся от нас на гораздо большем расстоянии, чем в действительности, ибо его видимые размеры меньше истинных. Эта иллюзия настолько сильна, что она более чем нейтрализует определение расстояния,

к которому нас приводит аккомодация глаза. Поэтому нам остается прибегнуть только к единственному способу, при помощи которого мы можем, без всяких приборов, судить о расстоянии до предмета, а именно, к определению положения данного предмета по отношению к другим предметам. Этот метод и именуется *методом параллакса*. Если наблюдатель встанет перед окном (рис. 3), а между

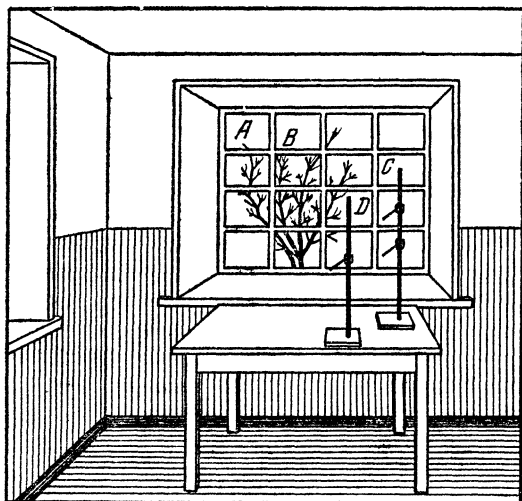


Рис. 3. Явление параллакса. При движении наблюдателя вправо *C* и *D* перемещаются вдоль окна влево (причем *C* перемещается меньше, чем *D*). Одновременно ветки дерева за окном (*A* и *B*) перемещаются вдоль окна вправо (причем дальняя ветка передвинется вправо больше, чем ближняя).

окном и наблюдателем будет находиться какой-нибудь предмет, скажем штатив на столе, и если, далее, наблюдатель передвинется, например влево, то он увидит, что штатив как бы передвинулся вдоль окна вправо. С другой стороны, если наблюдатель взглянет через окно на какой-нибудь предмет, скажем на ветви деревьев, и передвинется в том же направлении, то и предмет за окном передвинется туда же. Заменяя окно линзой и наблюдая через линзу изображение печатного текста, можно определить,

где находится это изображение: если за линзой, то оно будет перемещаться при перемещении глаза в ту же сторону, что и глаз. Если же изображение ближе к глазу, чем линза, то оно будет перемещаться в направлении, обратном перемещению глаза.

Акт зрительного восприятия рассматривается теперь как сложная цепь различных процессов и превращений, еще до сих пор недостаточно изученных и понятых. За сложным фотохимическим процессом в сетчатой оболочке глаза следуют нервные возбуждения волокон зрительного нерва, которые затем передаются коре головного мозга. Наконец, в пределах коры головного мозга происходит оформление зрительных восприятий; здесь они, возможно, взаимосвязываются с другими нашими ощущениями и контролируются на основании заранее приобретенного нами опыта, и только после этого начальное раздражение превращается в законченный зрительный образ.

Оказывается, мы видим в данный момент только то, что нас интересует, и это очень полезно для нас. Все поле зрения всегда заполнено разнообразными впечатляющими объектами, но наше сознание из всего этого выделяет лишь то, на что мы в данный момент обращаем особое внимание. Однако все неожиданно появляющееся в поле нашего зрения способно невольно привлечь наше внимание. Например, при интенсивной умственной работе нам может сильно помешать качающаяся лампа: глаза поневоле фиксируют это движение, а это в свою очередь рассеивает внимание.

Наше зрение обладает наибольшей пропускной способностью и может передать в мозг в 30 раз больше информации, чем наш слух, хотя зрительный сигнал достигает мозга через 0,15 сек, слуховой через 0,12 сек, а осязательный через 0,09 сек.

Следует заметить, что все важнейшие свойства глаза тесно связаны между собой; они не только зависят друг от друга, но и проявляются в различной степени, например при изменении яркости поля адаптации, т. е. яркости, к которой приспособлен человеческий глаз в данных конкретных условиях и в данный момент времени.

Указанные здесь способности органа зрения человека часто имеют у различных людей различную степень развитости и чувствительности. «Глаз — это чудо для пытливого ума», — говорил английский физик Д. Тиндаль.

2. Недостатки и дефекты зрения

Попытаемся разобраться более подробно в приведенных ранее отдельных указаниях на недостатки в устройстве глаза, на причины неточного восприятия некоторых зрительных образов.

Недостатки и дефекты зрения можно некоторым образом классифицировать.

Во-первых, существуют неправильности нормального глаза человека, присущие всем без исключения, — это аберрации *) оптической системы глаза (сферическая, астигматизм и хроматическая), наличие слепого пятна, иррадиация и энтоптические явления.

Во-вторых, существуют индивидуальные, иногда врожденные, иногда приобретенные с возрастом дефекты зрения — это близорукость и дальзорукость, косоглазие, куриная и цветовая слепота.

В-третьих, можно назвать общие психологические закономерности зрительных ощущений, такие, как абсолютный порог, пороги различения, соотношение между раздражителем и силой ощущения, адаптация, одновременный контраст, последовательные образы и взаимосвязь зрительных ощущений с другими психологическими процессами. Каждая из этих закономерностей может оказывать влияние на точность и достоверность зрительного восприятия объективной реальности.

Наконец, в-четвертых, ограниченные также соответствующими пределами восприятия яркостного контраста, спектральной чувствительности, степени рельефности, а также инерция зрения могут либо мешать вскрытию сущности явления, либо применяться с пользой для процесса познания.

Таким образом, ограничения и особенности нормального глаза и индивидуальные дефекты зрения сильно ограничивают роль зрительных ощущений в познании окружающего мира. Если же еще учесть субъективность пороговых значений зрительных функций, большое многообразие свойств зрительных органов у различных людей, то станет ясно, насколько мало точных сведений об окружающем нас мире мы получаем, пользуясь только своими ощущениями.

*) От латинского — отклонение.

Распространено мнение, что трудно встретить двух людей, обладающих совершенно одинаковыми свойствами зрительного аппарата. Вот, например, рассуждения на этот счет одного молодого человека.

«Мы с приятелем сидим летом среди благоухающей зелени на берегу лесной речки и наблюдаем чудесное многообразие явлений. Мой приятель блондин с голубовато-серыми глазами. Он с детства носит очки, исправляющие астигматизм. Я — брюнет, у меня темно-карие глаза. Я считаю, что вижу прекрасно, хотя мне говорят, что я иногда сильно закатываю левый глаз, так что зрачок оказывается у меня около переносицы. Я не знаю, видит ли мой приятель точно так же, как я. Как я могу знать, что он видит? Однако возможно и даже наверняка я увидел бы странную картину, если бы вдруг посмотрел на все окружающее глазами моего приятеля».

Справедливы ли эти рассуждения молодого человека?

Применительно к формальному различию свойств и дефектов оптических конструкций глаз молодого человека и его приятеля — эти рассуждения справедливы.

Однако зрительный процесс не просто фиксация оптических изображений предметов на сетчатой оболочке, а и одновременная работа мозговых центров, деятельность центральной нервной системы, использование накопленного опыта. Поэтому рассуждения молодого человека о зрительных восприятиях его и приятеля несправедливы.

С одной стороны, глаза каждого человека имеют свои дефекты, к которым их владелец уже приспособился и совершенно незаметно для себя устраняет их на каких-то этапах зрительного восприятия. С другой стороны, оба товарища, являясь членами одной социально-общественной среды, пользуются одинаковыми результатами эволюционного развития зрительного аппарата, одинаковым накопленным человечеством общественным опытом, общими современными для них взглядами на природу. Поэтому из разговора между ними можно выяснить, что они воспринимают своими различными глазами явления внешнего мира одинаково, за очень малыми исключениями. Этим и объясняется объективность зрительных ощущений, а также и их относительность, т. е. наличие в них доли ошибочности, недостоверности. Влиянию особенностей строения

нормального глаза человека на ошибочное восприятие реальности будет посвящен следующий раздел. Здесь мы остановимся особо на индивидуальных, врожденных или приобретенных дефектах зрения, чтобы затем, при описании некоторых иллюзий, ссылаться на эти краткие сведения.

Если произвести проверку аккомодации нормального глаза, то окажется, что наиболее удаленная точка, которую глаз может различать в спокойном состоянии, находится теоретически на бесконечности, а практически на расстоянии, превышающем 15 м. Эта точка считается *дальней*. Точка, которую можно ясно видеть на самом близком расстоянии от глаз, называется *ближней* точкой. Для нормального глаза эта точка находится на расстоянии 10—15 см. Расстояние, отделяющее дальнюю точку от ближней, называется *расстоянием аккомодации*.

Если отчетливое изображение точки на сетчатой оболочке глаза получается при ее удалении на расстояние не более 35 см — глаз страдает легкой близорукостью, от 35 до 10 см — средняя степень и если наибольшее расстояние отчетливого видения не превышает 10 см — сильная степень близорукости. Согласно рис. 4 степень

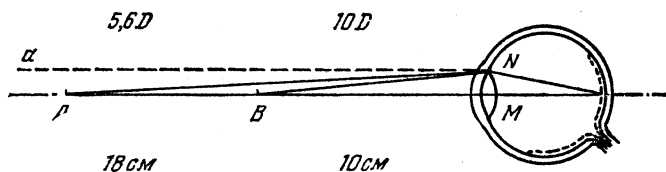


Рис. 4. Близорукий глаз. Изображение предмета получается перед сетчаткой.

близорукости определяется тем углом, который образуется между лучом aN , идущим из бесконечности, и лучом, идущим из дальней точки A , т. е. углом aNA или, что то же, NAM . Мера аккомодации определяется разностью углов NBM и NAM при дальней и ближней точке. Например, положим, что для какого-либо близорукого глаза дальняя точка отстоит от глаза на 180 мм, а ближняя на 100 мм. В таком случае степень близорукости выражается углом

$1/180 = 0,0056$, т. е. $5,6 D$ (диоптрий) *). Мера аккомодации выражается разностью углов $1/100 - 1/180 = 4/900 = 0,0044$, т. е. $4,4 D$.

Близорукий глаз имеет главный фокус преломляющей системы перед сетчаткой. Если рассматриваемый предмет приближается к глазу, то приближается к сетчатке и его изображение. В случае близорукости или ось глаза слишком длинна, или кривизна хрусталика велика, или преломляющая способность других сред глаза велика. Близорукость исправляется очками с вогнутыми стеклами.

Дальнозоркий глаз или является слишком коротким, или его хрусталик имеет малую кривизну. Изображения предметов в этом случае будут получаться за сетчаткой, и такой глаз в ненапряженном состоянии не может видеть отчетливо никаких предметов. В самом деле, по мере приближения предметов издали место схождения их лучей в глазу уходит еще дальше за сетчатку. Только прибегая к усилии аккомодации, этот глаз может видеть вообще, причем он видит отдаленные предметы лучше, чем близкие. Дальнозоркость исправляется очками с выпуклыми (положительными) линзами, увеличивающими преломляющую способность глаза.

Наибольшая степень дальнозоркости встречается при *афакии*, т. е. при отсутствии хрусталика и неспособности глаза аккомодироваться. От дальнозорких глаз следует отличать старческие глаза, иногда почти лишенные способности аккомодации вследствие уменьшения упругости хрусталика с годами. При этом ближняя точка все более и более удаляется от глаза. К 45 годам эта точка уже за пределами того расстояния, на котором нормальный глаз хорошо различает предметы. Старческую дальнозоркость исправляют с помощью выпуклых линз, приближающих как ближнюю, так и дальнюю точки.

У людей, страдающих косоглазием, зрительная линия (взгляд) одного глаза направлена на предмет, привлекающий внимание, а линия другого глаза отклонена в сторону

*) Углы, выраженные в тысячных долях радиана при радиусе зрачка 1 мм , принято называть в оптике *диоптриями*. Одна диоптрия — это преломляющая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м , т. е. оптическая сила линзы — величина, обратная главному фокусному расстоянию. Так, если $D = \frac{1}{F}$, то при $F = 0,5 \text{ м}$ $D = 2$ диоптрии; при $F = 33 \text{ см}$ $D = 3$ диоптрии и т. д.

носа (сходящееся или внутреннее косоглазие) или виска (расходящееся или внешнее косоглазие) кверху или книзу. Степень косоглазия определяется углом, образуемым линией зрения косящего глаза и нормальным направлением.

Различаются два вида косоглазия: содружественное и паралитическое. В первом случае двигательные мышцы глаз нормальны и движения их согласованы, однако положение глаз относительно друг друга все время остается неправильным. Возможно постоянное отклонение одного и того же глаза, а иногда попеременное; косит то один, то другой глаз. В тех случаях, когда один глаз видит лучше другого, фиксирующим всегда оказывается лучший глаз, а отклоняется второй, худший глаз. Но стоит только закрыть лучший глаз и фиксировать начинает хуже видящий глаз, а закрытый второй глаз становится отклоненным.

Этот вид косоглазия обусловлен расстройством двигательной части аппарата глубинного зрения, высокими степенями дальнозоркости или близорукости, плохим зрением одного из глаз. Согласованное зрение обоими глазами, дающее нам возможность получать пластические глубинные образы, оказывается утраченным. Содружественное косоглазие часто развивается в раннем детстве и может быть исправлено применением призматических очков. При сильном косоглазии одна из призм исправляет имеющееся отклонение зрительной оси косящего глаза, а другая частично отклоняет ось другого глаза, обеспечивая восстановление бинокулярного зрения. Паралитическое косоглазие появляется в результате паралича одной из нескольких двигательных мышц глаза вследствие заболевания центральной нервной системы. В этом случае движение пораженного глаза отстает, и его ось отклонена в сторону. Иногда при этом происходит двоение видимых предметов. При помощи очков этот вид косоглазия неустрашим: здесь помогает оперативное вмешательство. Известны случаи половинной слепоты, т. е. выпадания половины (правой или левой) поля зрения также вследствие заболевания центральной нервной системы.

Ненормальности глаза в отношении основных закономерностей свето- и цветоощущений встречаются в виде дефектов, именуемых «куриной слепотой» и цветовой слепотой. «Куриная слепота» (гемералопия) — это расстройство цветоощущения, проявляющееся в виде резкого по-

нижения видимости при ослабленном освещении в сумерки или ночью. При наступлении темноты, когда вещи теряют для нас свои хроматические оттенки, нормально зрячий все же достаточно легко ориентируется посредством своего периферического зрения. Субъект, страдающий гемералопией, чувствует себя совершенно беспомощным, ничего не различает, натывается на предметы и т. п. Темновая адаптация в этом случае или заметно ослаблена, или же вовсе отсутствует. Причинами этого дефекта зрения часто бывают плохое питание (недостаток жиров, витамина А) или продолжительная работа при чрезмерно ярком освещении.

Цветовая слепота может быть полной и частичной. Лица, страдающие полной цветовой слепотой, не различают никаких цветовых тонов, многоцветный рисунок они не отличают от одноцветного. Для них изображенные на рис. I (см. цветную вклейку) мак и василек отличаются друг от друга контурами и яркостью изображения.

Все цветовые тона для нормально видящего глаза могут быть воспроизведены путем смешения в надлежащих пропорциях не менее трех цветов, принятых за основные (красный, зеленый и синий). Поэтому нормально зрячие называются *трихроматами*. Явление ненормального трихроматизма было открыто в 1880 г. Д. Рэлеем. Лица, страдающие этой аномалией зрения, могли воспроизводить все цвета посредством смешения тех же трех цветов, что и лица с нормальным зрением, но при этом они слишком много прибавляют зеленого цвета. Таким образом, смесь, которая им кажется белой, на самом деле является зеленой, смесь, которая нам кажется белой, они считают розовой.

Лица с полной цветовой слепотой являются монохроматами, поскольку все оттенки предметов они получают только за счет вариаций интенсивности одного и того же раздражителя. Полная цветовая слепота явление весьма редкое. Чаще встречаются частичные расстройства цветового зрения, например, когда субъект, воспринимая все доступные ему цвета, смешивает только два основных — зеленый и синий (краснослепые или дальтоники — это цветовая слепота первого рода — *протонопия*) или красный и синий (зеленослепые — цветовая слепота второго рода — *дейтеронопия*). Наконец, третий вид частичной цветовой слепоты (*триптонопия*) — это «слепота на фиолетовый

цвет». Протонопией страдал знаменитый английский химик Д. Дальтон, который впервые в 1794 г. и описал этот недостаток своего зрения. Дальтон обратил внимание на то, что цветок герани, который показался всем розовым, ему представлялся днем голубым, а вечером, при свечах, красным. Все уверяли его, что не видят никакой бросающейся в глаза разницы в цвете лепестков герани днем и вечером. Это наблюдение побудило Дальтона изучить особенность своего зрения, и он нашел, что красный, оранжевый, желтый и зеленый цвета казались ему почти одинаковыми: все их он называл желтыми. Зато он хорошо различал синий и фиолетовый цвета. Дальтон говорил, что кровь казалась ему зеленого, бутылочного цвета, а трава почти красной. Трудно представить, как Дальтон, страдавший столь резко выраженной цветовой слепотой, не обнаружил ее раньше 26-летнего возраста. Возможно, это было следствием нашей способности не обращать внимания на то, что привычно. Человек, страдающий цветовой слепотой, часто может думать, что он прав, а окружающие ошибаются. В жизни известны случаи приобретенного дальтонизма, однако в большинстве случаев этот дефект зрения является врожденным и передается по женской линии главным образом мужскому потомству. Около 4% всех мужчин страдают дальтонизмом, тогда как среди женщин все виды цветовой слепоты встречаются гораздо реже — не чаще 0,5%.

Для второй группы цветнослепых (дейтеронопов) характерной особенностью является неумение отличать светло-зеленый цвет от темно-красного и фиолетовый от голубого, между тем как пурпурный цвет с голубым они не смешивают, но смешивают с серым.

Третий вид частичной цветовой слепоты наблюдается значительно реже. Для тританонов весь спектр содержит лишь оттенки красного и зеленого.

Для многих профессий цветовая слепота не является крупным недостатком. Но есть такие профессии, когда умение уверенно и строго различать цвета имеет существенное значение — например, цветнослепой, работающий машинистом, рулевым, шофером и т. п., всегда может вызвать катастрофу, приняв один сигнальный цвет за другой. Цветнослепой, не умеющий определять цвета растворов и красящих веществ, не может успешно работать на некоторых операциях в химической, полиграфической,

текстильной и в других отраслях промышленности. Профессии художника, ботаника, портного, медика и некоторые другие также требуют нормального цветового зрения.

В настоящее время для испытания на цветовую слепоту применяются таблицы, где среди пятен одного цвета помещены пятна другого, составляющие вместе для всякого нормально зрячего какую-нибудь цифру, букву или фигуру. Цветнослепые не могут отличить цвет этих пятен от цвета пятен, служащих фоном, а следовательно, они не могут «прочитать» и соответствующих цифр, букв или фигур.

На рис. II, помещенном на цветной вклейке, приведена испытательная таблица проф. Е. Б. Рабкина, на которой краснослепой — дальтоник не видит круга, а зеленослепой не видит треугольника. Цветовое зрение в современных условиях будет доставлять человеку все большее и большее наслаждение не только от восприятия прекрасного в природе и в живописи, но и в новых формах искусства — цветной фотографии и кино. Цвету придают все большее значение в промышленности, так как оказывается, что от правильно подобранной окраски производственных помещений и оборудования в значительной мере зависит производительность труда. Недалеко то время, когда приобретет массовое распространение цветное телевидение, а затем и цветомузыка.

Дальнейшее изучение и все более эффективное закрепление полезных свойств зрительного аппарата человека позволяет нейтрализовать, а частично и вовсе устранить вредное влияние недостатков и дефектов нашего зрения.

3. Иллюзии, связанные с особенностями строения глаза

Оптическая система глаза не свободна от сферической и хроматической аберраций.

Сущность сферической аберрации состоит в том, что фокус для лучей, вступающих в глаз параллельно его оси и на малом расстоянии от нее, оказывается дальше от зрачка, чем фокус для лучей, более удаленных от оси. Крайя зрачкового пространства преломляют свет сильнее, чем его середина. Частично по этой причине, как было указано ранее, мы видим малые источники света в виде лучистых звезд. В наличии сферической аберрации глаза легко убедиться, проделав такой опыт. Если печатный текст поместить перед глазом ближе расстояния наилуч-

шего видения, когда уже нет возможности отчетливо видеть буквы, а затем взять листок бумаги с малым отверстием и поместить его перед самым глазом, то буквы снова сделаются отчетливо видимыми. Если держать черную нитку перед ярким пламенем, то она нам кажется разорванной—кружки рассеяния света на сетчатке охватывают нить с обеих сторон и делают ее невидимой. Стремясь лучше разглядеть предмет, мы «щуримся», сближая веки, и тем самым уменьшаем отверстие, через которое в глаз проходят лучи света. В результате края зрачка и хрусталика «выключаются» из работы, сферическая аберрация уменьшается, и мы видим предмет яснее, резче. При ярком освещении, когда сужается зрачок, сферическая аберрация уменьшается, и мы видим лучше.

Глаз не представляет собой системы ахроматической: фокус фиолетовых лучей расположен на 0,43 мм ближе к хрусталику, чем фокус лучей красных, если глаз аккомодирован на бесконечность. Поэтому предметы, особенно белые, освещенные белым светом, дают на сетчатке изображение, окруженное цветной каймой. Обычно мы не замечаем ее, так как она очень слаба. Однако ее легко обнаружить при помощи несложных опытов, например, рассматривая на очень близком расстоянии рис. 5. Тот же эффект мы будем наблюдать, если через малое отверстие в листке бумаги посмотрим на край крыши на фоне яркого неба. Подняв листок так, чтобы лучи попадали на периферию зрачка, заметим, что небо около крыши покажется красноватым. Выше сказанное легко объяснить, если вспомнить, что на сетчатке получается обратное изображение и что при падении лучей на край линзы синие лучи преломляются сильнее, чем красные. Хроматическая аберрация глаза и линз оптических инструментов создает трудности при рассматривании шкал или интерференционных полос, а также при наблюдении за небесными телами с помощью астрономических инструментов.

Известны случаи появления у людей близорукости только в сумерках, когда очертания видимых предметов становятся менее резкими. Если при этом четкая видимость предметов ограничивается расстоянием 2 м, то появившаяся близорукость соответствует 0,5 диоптрии. Днем глаз обладает максимальной чувствительностью в желто-зеленом участке спектра, а в сумерки максимум чувствительности смещается к сине-зеленому участку. Глаз, как и

линза, преломляет сине-зеленые лучи сильнее, чем желтые. Следовательно, ночная близорукость появляется у людей из-за хроматической аберрации глаза. Кроме того, при слабом освещении зрачок глаза расширяется и края



Рис. 5. Если поднести этот рисунок очень близко к глазу, то возле черных кругов мы увидим цветные каемки. Это свидетельствует о том, что глаз не свободен от хроматической аберрации.

хрусталика начинают играть бóльшую роль в формировании изображения на сетчатке. Следовательно, ночная близорукость в какой-то мере обусловлена и сферической аберрацией глаза.

Астигматизм *) глаза. Астигматизмом глаза называется его дефект, обусловленный обычно несферической (торической) формой роговой оболочки и иногда несферической формой поверхностей хрусталика.

Астигматизм человеческого глаза был впервые обнаружен в 1801 г. английским физиком Т. Юнгом. При наличии этого дефекта (кстати, не у всех людей проявляющегося в резкой форме) не происходит точечного фокусирования лучей, параллельно падающих на глаз, вследствие различного преломления света роговицей в различных сечениях.

*) Греческое «стигма» — точка.

При сильном астигматизме человек видит четко, например, только вертикальные линии, а горизонтальные видит нерезко, или наоборот (рис. 6). Астигматизм резко выраженный исправляется очками с цилиндрическими стеклами,

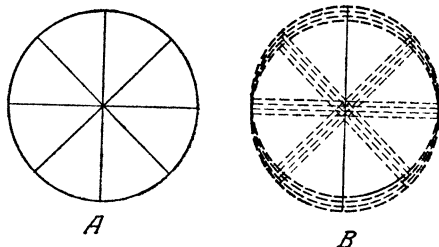


Рис. 6. Астигматический глаз видит фигуру А так, как она изображена справа.

которые преломляют световые лучи только в направлении, перпендикулярном к оси цилиндра.

Глаза, совершенно свободные от этого недостатка, у людей встречаются редко, в чем легко можно убедиться, рассматривая приведенные здесь рис. 7, 8 и 9.

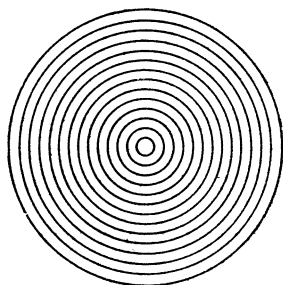


Рис. 7. Концентрические, близкие друг к другу окружности кажутся прерванными, не одинаково удаленными друг от друга.

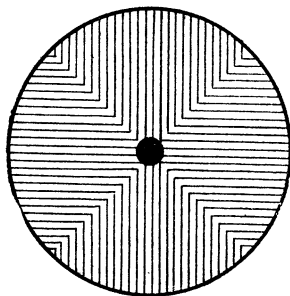


Рис. 8. Одинаковая (однотонная) штриховка квадрантов этого круга кажется не одинаково яркой.

Для испытания глаз на астигматизм врачи-окулисты часто применяют специальную таблицу (рис. 10), где двенадцать кружков имеют штриховку равной толщины через одинаковые интервалы. Глаз, обладающий астигма-

тизмом, увидит линии одного или нескольких кружков более черными. Направление этих более черных линий позволяет сделать вывод о характере астигматизма глаза.

Если астигматизм обусловлен несферической формой поверхности хрусталика, то при переходе от ясного видения предметов горизонтальной протяженности к рассмотрению вертикальных предметов человек должен изменить аккомодацию глаз.

Чаще всего расстояние ясного видения вертикальных предметов меньше, чем горизонтальных. Это частично связано со зрительным дефектом «переоценки вертикальных линий», о чем будет сказано далее (см. п. 5).

При рассматривании концентрических кругов (рис. 7)



Рис. 9. Те или иные буквы кажутся более темными в зависимости от положения рисунка относительно глаза.

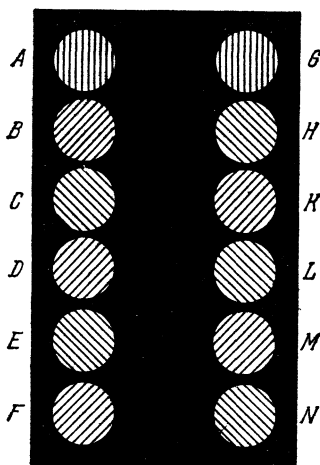


Рис. 10. Фигура для определения степени и меры астигматизма глаза.

с небольшого расстояния иногда создается впечатление, подобное наблюдению за вращающимся пропеллером. Это явление объясняют колебаниями кривизны поверхностей хрусталика при нашем стремлении получить резкое изображение различных секторов этих кругов на сетчатке.

Слепое пятно. Наличие слепого пятна на сетчатой оболочке глаза впервые открыл в 1668 г. известный французский физик Э. Мариотт. Свой опыт, позволяющий убедиться в наличии слепого пятна, Мариотт описывает следующим образом: «Я прикрепил на темном фоне, приблизительно на уровне глаз, маленький кружочек белой бумаги и в то же время просил другой кружочек удерживать сбоку от первого, вправо на расстоянии около двух футов, но несколько ниже так, чтобы изображение его упало на оптический

нерв моего правого глаза, тогда как левый я зажмурю. Я стал против первого кружка и постепенно удалялся, не спуская с него правого глаза. Когда я был в расстоянии 9 футов *), второй кружок, имевший величину около 4 дюймов, совсем исчез из поля зрения. Я не мог приписать это его боковому положению, ибо различал другие предметы, находящиеся еще более сбоку, чем он; я подумал бы, что его сняли, если бы не находил его вновь при малейшем передвижении глаз». Известно, что Мариотт забавлял английского короля Карла II и его придворных тем, что учил их видеть друг друга без головы.

Сетчатая оболочка глаза в том месте, где в глаз входит зрительный нерв, не имеет светочувствительных окончаний нервных волокон (палочек и колбочек). Следовательно, изображения предметов, приходящиеся на это место сетчатки, не передаются мозгу.

Можно убедиться в наличии слепого пятна, рассматривая любой из рис. 11, 12 и 13. На этих рисунках слепое пятно для правого глаза обнаруживается правее центрального луча, а для левого — левее. При этих условиях в первом случае пропадает правая часть рисунка, а во втором левая. Поэтому для правого глаза надо установить рисунок так, чтобы прямо против глаза находилась левая часть рисунка (например, центральный кружок рис. 11 и 12 или крест рис. 13), а для левого — правая часть рисунка. Затем, если необходимо, удалять или приближать рисунок, или сдвигать его понемногу в сторону, пока не будет достигнут четкий эффект.

Академик С. И. Вавилов по поводу устройства глаза писал: «Насколько проста оптическая часть глаза, настолько сложен его воспринимающий механизм. Мы не только не знаем физиологического смысла отдельных элементов сетчатки, но не в состоянии сказать, насколько целесообразно пространственное распределение светочувствительных клеток, к чему нужно слепое пятно и т. д.

Перед нами не искусственный физический прибор, а живой орган, в котором достоинства перемешаны с недостатками, но все неразрывно связано в живое целое».

Слепое пятно, казалось бы, должно мешать нам видеть весь предмет, но в обычных условиях мы этого не замечаем. Во-первых, потому, что изображения предметов, прихо-

*) 1 фут равен 0,3048 м, 1 дюйм — 25,4 мм.

дящиеся на слепое пятно в одном глазу, в другом проектируются не на слепое пятно; во-вторых, потому, что выпадающие части предметов невольно заполняются образами соседних частей, находящихся в поле зрения.

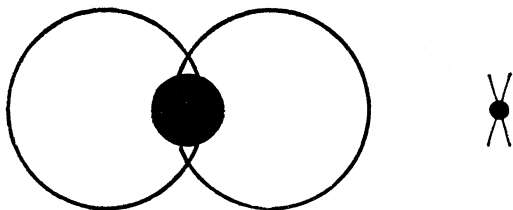


Рис. 11.



Рис. 12.



Рис. 13. Закрыть левый глаз и посмотреть правым на фигуру, изображенную слева, держа рисунок на расстоянии 15—20 см от глаза. При некотором положении рисунка относительно глаза изображение правой фигуры перестанет быть видимым. Рис. 11 и 13 позволяют обнаружить слепое пятно и правого, и левого глаза.

Если, например, при рассматривании черных горизонтальных линий некоторые участки изображения этих линий на сетчатке одного глаза придутся на слепое пятно, то мы не увидим разрыва этих линий, так как другой наш глаз восполнит недостатки первого. Участки «прямых линий», проходящие через слепое пятно любого глаза, будут нашим сознанием продолжены по кратчайшему пути даже в том случае, когда в действительности в этом месте линии имеют разрыв или изгиб. Так, например, если слепое

пятно придется против «середины креста», мы «увидим» крест даже в том случае, когда в действительности четыре его ветви не соединяются посередине. А вот еще один интересный опыт. Если держать перед собой лист белой бумаги с красным пятном так, чтобы это красное пятно не было видно, например правым глазом, мы все же увидим пятно левым глазом, т. е. увидим лист бумаги с красным пятном, что и соответствует действительности. Если же взять совершенно белую бумагу, а перед левым глазом держать красное стекло, то вся бумага покажется красновато-белого цвета, причем место, соответствующее слепому пятну правого глаза, ничем не отличается от остального фона. Даже при наблюдении одним глазом наш рассудок возмещает недостаток сетчатки и исчезновение некоторых деталей предметов из поля зрения не доходит до нашего сознания. Слепое пятно достаточно велико (на расстоянии двух метров от наблюдателя из поля зрения может исчезнуть даже лицо человека), однако при обычных условиях видения подвижность наших глаз устраняет этот «недостаток» сетчатой оболочки.

Иррадиация*). Явление иррадиации заключается в том, что светлые предметы на темном фоне кажутся увеличенными против своих настоящих размеров и как бы захватывают часть темного фона. Это явление известно с очень давних времен. Еще Витрувий (I в. до н. э.), архитектор и инженер древнего Рима, в своих трудах указывал, что при сочетании темного и светлого «свет пожирает мрак». На нашей сетчатке свет отчасти захватывает место, занятое тенью.

Первоначальное объяснение явления иррадиации было дано Р. Декартом, который утверждал, что увеличение размеров светлых предметов происходит вследствие распространения физиологического возбуждения на места, соседние с прямо раздраженным местом сетчатки.

Однако это объяснение в настоящее время заменяется новым, более строгим, сформулированным Гельмгольцем, согласно которому первопричиной иррадиации являются следующие обстоятельства.

Каждая светящаяся точка изображается на сетчатой оболочке глаза в виде маленького кружка рассеяния из-за несовершенства хрусталика, неточной аккомодации и пр.

*) По-латыни — неправильное излучение.

Когда мы рассматриваем светлую поверхность на темном фоне, вследствие аберрационного рассеяния как бы раздвигаются границы этой поверхности, и поверхность кажется нам больше своих истинных геометрических размеров; она как бы простирается через края окружающего ее темного фона. Эффект иррадиации сказывается тем резче, чем хуже глаз аккомодирован.

В силу наличия кругов светорассеяния на сетчатке иллюзорному преувеличению могут при известных условиях (например, очень тонкие черные нити) подвергаться и темные предметы на светлом фоне — это так называемая негативная иррадиация.



Рис. 14. Белый квадрат на черном фоне справа кажется больше черного квадрата на светлом фоне слева.

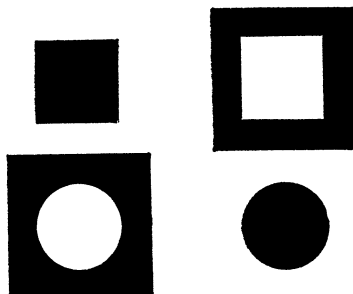


Рис. 15. Белые фигуры на черном фоне кажутся больше черных фигур на белом.

Примеров, когда мы можем наблюдать явление иррадиации, существует очень много, здесь нет возможности привести их полностью. Наличие иррадиации наглядно подтверждают рис. 14—19.

Великий итальянский художник, ученый и инженер 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 большей, чем ширина плеч женщины, которые были одеты в черное. Если с большого расстояния рассматривать зубцы крепостей, отделенные друг от друга

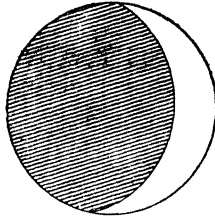


Рис. 16. Часть лунного диска, освещенная отраженным от Земли светом, кажется меньшего диаметра, чем яркий серп Луны, освещенный Солнцем.

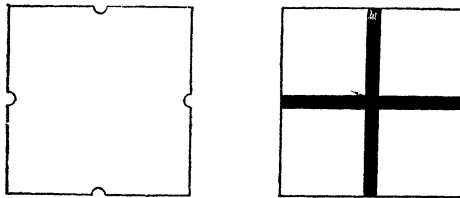


Рис. 17. Квадрат перечеркнут двумя широкими черными полосками, которые кажутся ущемленными в местах касания со сторонами квадрата (как показано слева).

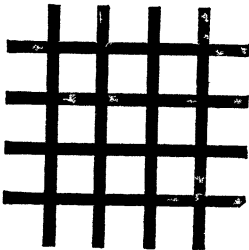


Рис. 18. Перекрестия черных полосок кажутся не черными, а серыми. Этот эффект только отчасти можно объяснить иррадиацией.

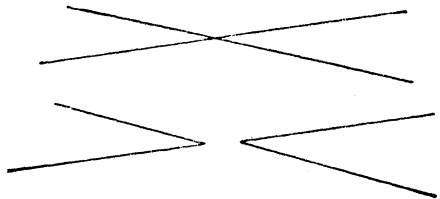


Рис. 19. Перекрещивающиеся под острыми углами провода кажутся разорванными, как показано внизу рисунка. Если ветер раскачивает провода, то белый просвет колеблется в такт с этими качаниями.

промежутками, равными ширине этих зубцов, то промежутки кажутся много большими, чем зубцы...»

На целый ряд случаев наблюдений явления иррадиации в природе указывает в своем трактате «Учение о цветах» великий немецкий поэт Гёте. Он пишет об этом явлении так:

«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 $\frac{1}{5}$ меньше первого. Если черный круг сделать соответственно больше, они покажутся равными. Молодой серп луны кажется принадлежащим кругу большего диаметра, чем остальная темная часть луны, которая иногда бывает при этом различима».

Явление иррадиации при астрономических наблюдениях мешает наблюдать тонкие черные линии на объектах наблюдения; в подобных случаях приходится диафрагмировать объектив телескопа. Физики из-за явления иррадиации не видят тонких периферических колец дифракционной картины. Датские специалисты, изучив статистику автомобильных аварий в странах Европы, пришли к выводу, что 61% всех происшествий произошел с машинами, окрашенными в черный цвет. Только 6% приходится на автомобили светлых тонов. Поставленные опыты показали, что черная окраска как бы удаляет машину.

В темном платье люди кажутся тоньше, чем в светлом. Источники света, видимые из-за края, производят в нем кажущийся вырез. Линейка, из-за которой появляется пламя свечи, представляется с зарубкой в этом месте. Восходящее и заходящее солнце делает словно выемку в горизонте.

Еще несколько примеров. Черная нить, если ее держать перед ярким пламенем, кажется в этом месте прерванной; раскаленная нить лампы накаливания кажется толще, чем она есть в действительности; светлая проволока на темном фоне кажется более толстой, чем на светлом. Переплеты в оконных рамах кажутся меньше, чем они есть в действительности. Статуя, отлитая из бронзы, выглядит меньше, чем изготовленная из гипса или белого мрамора.

Архитекторы Древней Греции угловые колонны своих построек делали толще прочих, учитывая, что эти колонны со многих точек зрения будут видны на фоне яркого неба и вследствие явления иррадиации будут казаться тоньше.

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

малым, хотя объектив дает правильное его изображение.

Заметим, что явление негативной иррадиации можно наблюдать в таких случаях, когда черная нить или слегка блестящая металлическая проволока на белом фоне кажутся толще, чем на черном или сером. Если, например, кружевница хочет показать свое искусство, то ей лучше изготовить кружево из черных ниток и расстилать его на белую подкладку. Если мы наблюдаем провода на фоне параллельных темных линий, например, на фоне черепичной крыши или кирпичной кладки, то провода кажутся

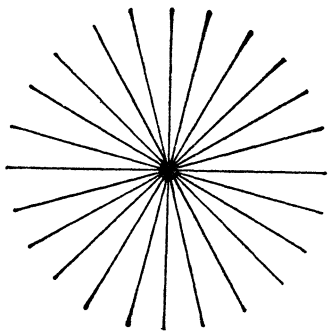


Рис. 20. Черные линии резко различимы только по некоторым радиальным направлениям; по другим они сливаются в серый фон. Для восприятия всей фигуры глаз должен совершать круговые движения.

утолщенными и сломанными там, где они пересекают каждую из темных линий. Эти эффекты наблюдаются и тогда, когда провода накладываются в поле зрения на четкий контур строения.

Вероятно, явление иррадиации связано не только с аберрационными свойствами хрусталика, но также и с рассеянием и преломлением света в средах глаза (слой жидкости между веком и роговой оболочкой, среды, заполняющие переднюю камеру и всю внутренность глаза). Поэтому иррадиационные свойства глаза, очевидно, связаны с его разрешающей силой и лучистым восприятием «точечных» источников света. Например, для восприятия всей фигуры (рис. 20) глаз должен совершать круговые движения.

С аберрационными свойствами, а значит, частично и с явлением иррадиации связана способность глаза переоценивать острые углы, о чем будет сказано далее (см. п. 6).

4. «Целое» и «часть»

Очень многие ошибочные зрительные впечатления обусловлены тем, что мы воспринимаем видимые нами фигуры и их части не отдельно, а всегда в некотором соотношении с окружающими их другими фигурами, некоторым фоном или обстановкой. К этому разделу относится, пожалуй, самое большое количество зрительных иллюзий, встречающихся на практике. Все эти иллюзии можно разделить на пять 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 («целое больше — больше и его части»). При этих условиях ошибка появляется не вследствие дефектов глаза как оптического прибора, а скорее вследствие психофизиологического этапа зрительного восприятия (рис. 21—28). Свойства фигуры мы ошибочно переносим на ее части. А. Л. Ярбус указывает общую причину появления иллюзий (рис. 21—27), заключающуюся как бы в «тенденции» определять расстояния не между краями предметов, а между самими предметами. Доказательством этому и служат иллюзии, наблюдаемые на рис. 28, где увеличенными или уменьшенными воспринимаются те расстояния, которые должны были бы определяться по отношению к краям черных кружков, а наше зрение относит их к центру кружков.

Во-вторых, встречаются случаи иллюзий того же рода с той только разницей, что суждение о зрительном образе идет в обратном направлении: не от «целого» к «части», а от «части» к «целому». Примеры таких иллюзий приведены на рис. 29—32. Аналогичная ошибка зрения имеет место и тогда, когда мы рассматриваем отдельно монету достоинством в две копейки и номер на государственном казначейском билете СССР достоинством в 1 рубль. Нам кажется, что монета не закроет этого номера, хотя она точно закрывает его от первой до последней цифры.

В-третьих, при восприятии фигур в целом и отдельных их частей (линии, углы, отдельные детали) зрительные иллюзии могут иметь место вследствие общепсихологического закона контраста, т. е. обстановки, окружения этих частей и их взаимосвязи с другими частями фигуры. Примеры можно найти на рис. 33—34. Здесь речь не идет

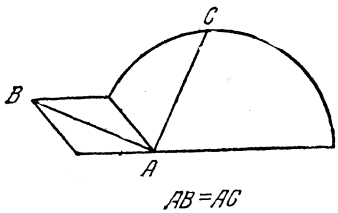
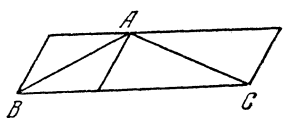
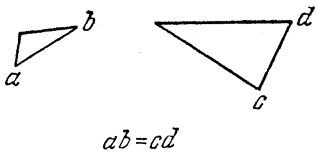


Рис. 21. Правые фигуры больше левых (фигуры в целом), однако части этих фигур могут быть равны частям левых фигур, хотя они и кажутся значительно крупнее.

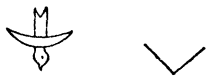
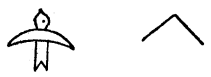


Рис. 22. Части вертикальных осевых линий между крайними нижними и средними точками кажутся больше, чем части осевых линий между средними и крайними верхними точками.

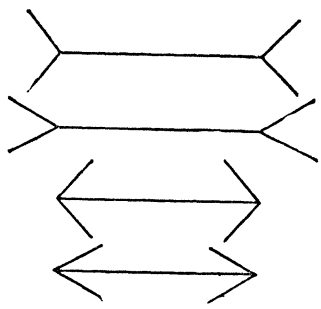
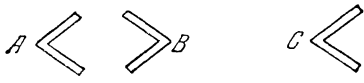


Рис. 23. $AB = BC$. Осевые линии нижних фигур равны по длине.

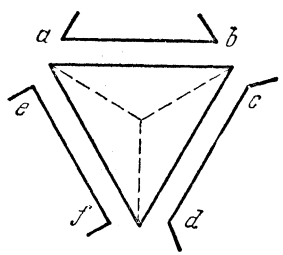


Рис. 24. ab кажется меньше ef , а ef кажется меньше cd ; на самом деле все три отрезка равны между собой.

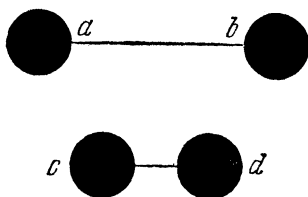


Рис. 25.

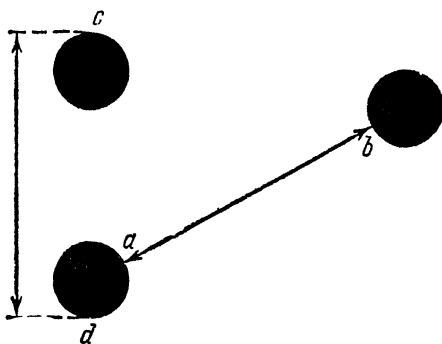


Рис. 26.

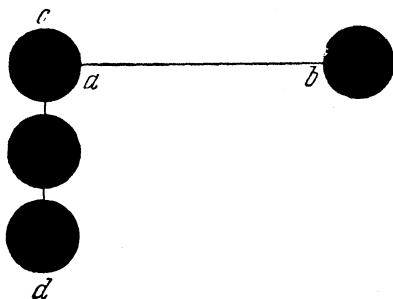


Рис. 27. На рис. 25, 26 и 27 расстояние ab кажется больше cd ; в действительности $ab = cd$.

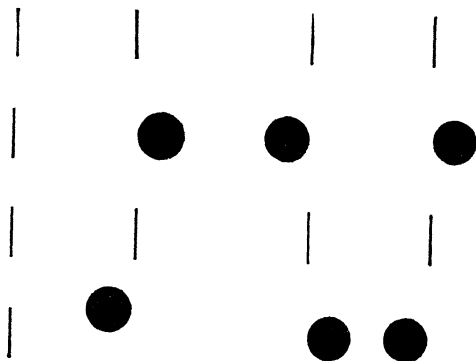


Рис. 28. Расстояния между двумя вертикальными прямыми и между вертикальной прямой и одним кругом в левой части рисунка кажутся не равными расстояниям между двумя кругами в правой части рисунка. На самом деле эти расстояния равны между собой (рисунок А. Л. Ярбус).

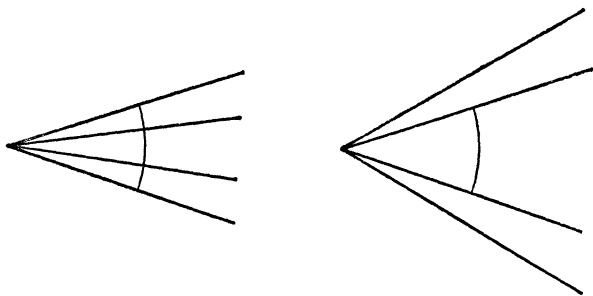


Рис. 29. Угол, стянутый дугой, справа кажется больше стянутого дугой угла слева. В действительности они равны.

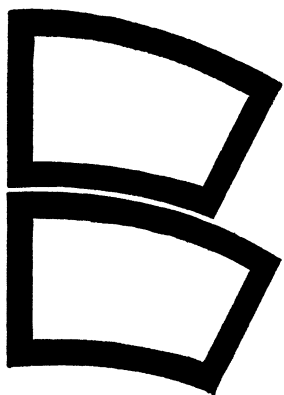


Рис. 30. Верхняя фигура по периметру и площади кажется не равной нижней; на самом деле при наложении фигуры совмещаются.

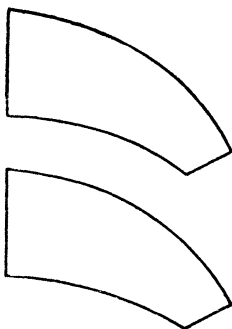


Рис. 31. Менее отчетливо наблюдаемое неравенство двух равных фигур.

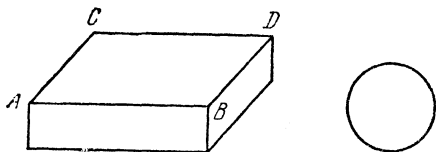


Рис. 32. Поместится ли кружок между линиями AB и CD ? На глаз кажется, что поместится, а на самом деле диаметр кружка больше расстояния между этими линиями.

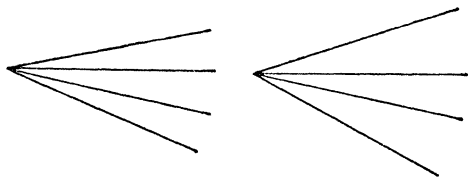


Рис. 33. Внутренний острый угол правой фигуры кажется меньше внутреннего острого угла левой. В действительности они равны.

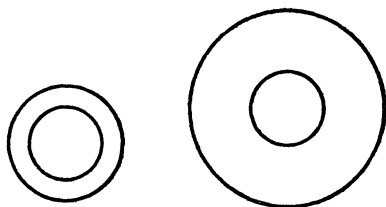


Рис. 34. Внутренний круг слева кажется больше правого внутреннего круга.

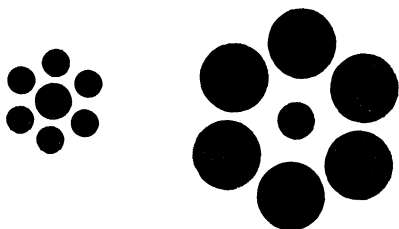


Рис. 35. Тот же эффект, что на рис. 34.

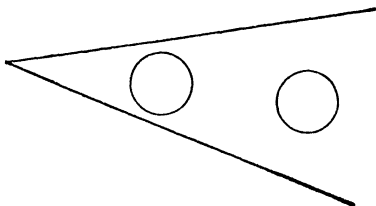


Рис. 36. Круг, примыкающий ближе к сторонам острого угла слева, кажется больше, чем круг справа.

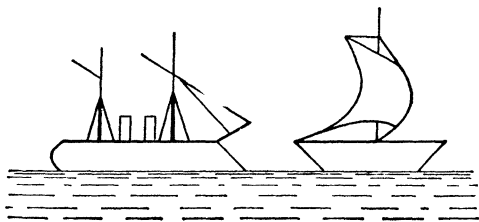


Рис. 37. Палуба правого парусника кажется короче палубы левого парохода.

о контрасте яркости или о цветовом контрасте, который практически здесь ничтожно мал или вовсе отсутствует.

В-четвертых, известны иллюзии, причина которых кроется в уподоблении (ассимиляции) одной части фигуры другой. Несколько таких иллюзий приведено на рис. 35—48.

Если, например, рис. 47 и 48 освещать на мгновение искровой вспышкой, то иллюзия (по крайней мере при определенной продолжительности вспышки) пропадет. Глаз за время вспышки не успеет заметно передвинуться, следя за спиралью фона и уподобляя этим спиралью светлые окружности. При этом обстановка или фон как бы отпадает.

Глаз обладает вполне отчетливым зрением лишь в области центрального углубления желтого пятна, т. е. на очень небольшом участке сетчатки. Фиксируя, например, какое-нибудь слово на печатной странице, мы с трудом можем прочесть соседнее слово, а дальше совсем ничего не разбираем (если наши глаза неподвижны). Поэтому зрение — это в сущности обозревание. Наш взгляд постоянно перемещается. Это порождает порой иллюзии, подобные приведенным на рис. 49 и 50.

Наконец, следует указать на последнюю группу иллюзий, связанных со зрительным восприятием целого и части, причина которых кроется в неспособности зрительного аппарата иногда выделить часть из целого из-за сложности обстановки.

Так, например, на левых фигурах рис. 51 и 52 мы затрудняемся сразу выделить квадраты, хотя они там и имеются (на правых фигурах выделены более толстыми линиями).

Заметим, что выделенный квадрат на рис. 52 кажется вытянутым в горизонтальном направлении, что объясняется способностью нашего зрения переоценивать (преувеличивать) острые углы, о чем будет сказано далее (см. п. 6).

Многочисленные иллюзии этого раздела говорят нам о том, что здесь чаще всего неточное, искаженное впечатление создается в результате неправильного суждения о видимом, и не глаз ошибается, а мозг неуверенно разъясняет нам впечатления внешнего мира.

В самом деле, мы не имеем никаких оснований считать, что оптические изображения фигур на рис. 21—52 на сетчатке нашего глаза будут неправильны. Следовательно, эти иллюзии создаются не вследствие оптических

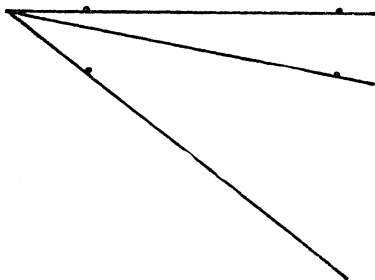


Рис. 38. Расстояние между точками, лежащими ближе к вершине острого угла, кажется больше, чем расстояние между точками, более удаленными от вершины. Иллюзия совсем исчезает, если посмотреть на рисунок со стороны вершины угла так, чтобы взгляд скользил по плоскости рисунка.

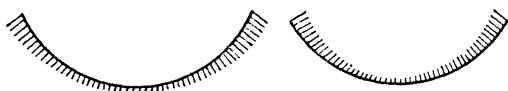


Рис. 39. Правая дуга кажется более короткой и имеющей большую кривизну, чем левая.

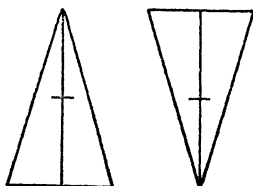


Рис. 40. Высоты треугольников разделены пополам, однако кажется, что части, прилегающие к вершине, короче.

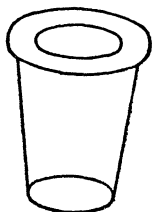


Рис. 41. Верхний внутренний овал кажется меньше нижнего, а в действительности они равны.

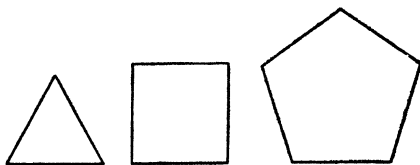


Рис. 42. Стороны треугольника кажутся меньше сторон квадрата, а стороны квадрата меньше сторон пятигранника. Все эти отрезки, однако, равны. Иллюзия создается исключительно благодаря возрастанию периметров и площадей этих фигур.

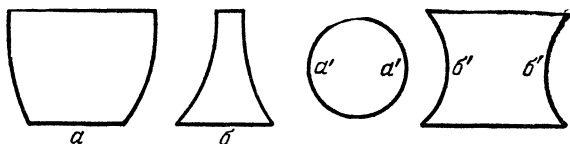


Рис. 43. Основание фигуры *a* кажется меньше основания фигуры *б*, диаметр окружности *a'a'* кажется меньше расстояния *б'б'*, хотя все эти линии равны между собой.

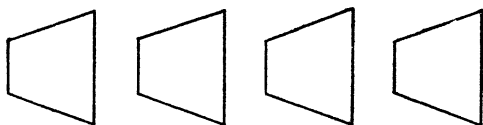


Рис. 44. Каждая левая фигура кажется больше каждой правой, хотя все фигуры одинаковы. Иллюзия исчезнет, если на этот рисунок посмотреть с правой стороны так, чтобы взгляд скользил по плоскости чертежа.



Рис. 45. Прямая, касательная ко всем кружкам разных радиусов, кажется кривой, так как мы невольно уподобляем ее верхней криволинейной границе. (Иллюзия С. Томпсона.)

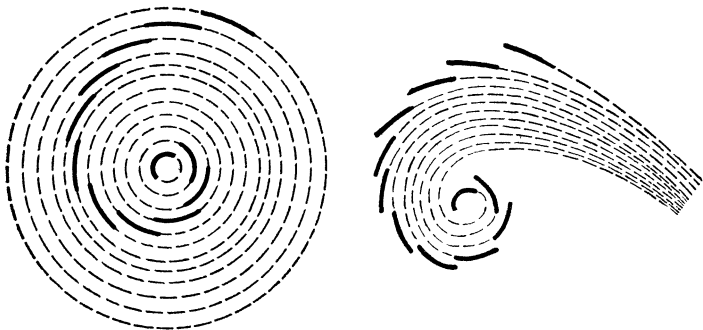


Рис. 46. Одиночная спираль, изображенная в левой части, не создает впечатления смещения спирали к точке схода с другими подобными спиралями. Та же спираль, изображенная справа, создает такое впечатление.

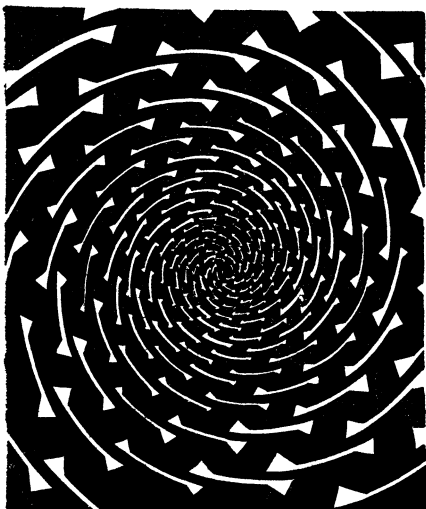


Рис. 47. Расположение отрезков концентрических окружностей с утолщениями на концах по принципу склонения их к спирали создает впечатление, что на рисунке изображены белые спирали на черном фоне.

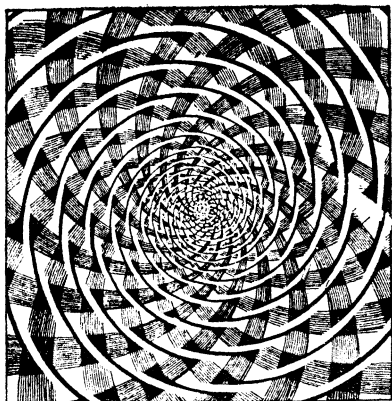


Рис. 48. Вследствие спиральной штриховки серого фона белые, прерванные местами линии кажутся спиралями; на самом деле они представляют собой концентрические окружности, в чем легко убедиться с помощью циркуля или карандаша.

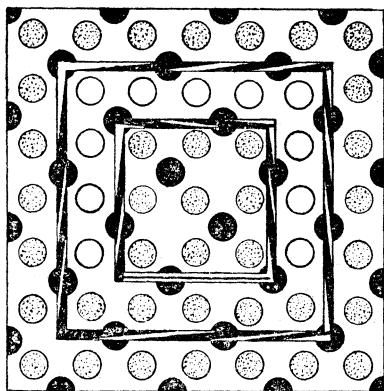


Рис. 49. Стороны квадрата, изображенные прерывистыми линиями на фоне из чередующихся белых, серых и черных кружков, кажутся сильно смещенными и не принадлежащими квадрату.

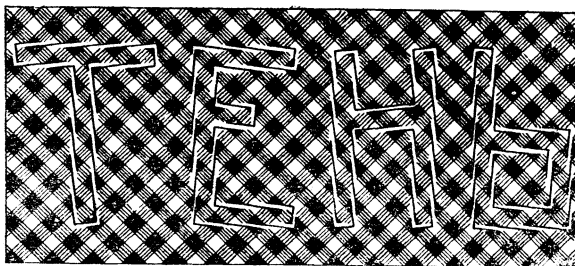


Рис. 50. Буквы кажутся наклонными, а на самом деле они стоят вертикально по отношению к горизонтальным линиям рамки рисунка.

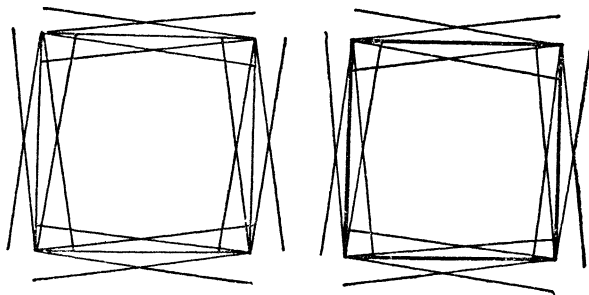


Рис. 51.

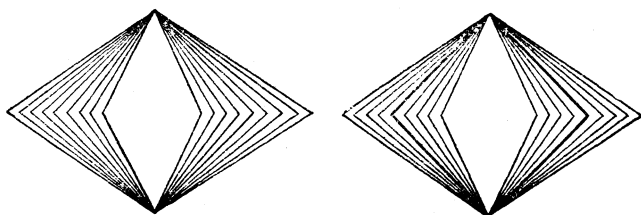


Рис. 52. Изображен квадрат, но он маскирован окружающими его линиями и не виден отчетливо, справа он выделен из обстановки.

недостатков глаза, а вследствие определенных правил обзора картины (движение глаз, положение рисунка) и некоторых неосознаваемых нами и еще не известных нам законов работы сетчатки и мозга, соединяющего отдельные раздражающие импульсы в общую картину. В иллюзиях, приведенных в этом разделе, мы можем проследить диалектическое единство анализа и синтеза, т. е. связь частей с целым, когда в частях мы наблюдаем свойства целого, в целом же сказываются свойства частей.

5. Переоценка вертикальных линий

Очевидно, в силу исторически накопленного опыта, с одной стороны, и благодаря расположению линии, соединяющей глаза человека в горизонтальной плоскости, — с другой, человек обладает способностью точнее определить на глаз горизонтальные расстояния, чем высоту предметов. Оказывается, острота зрения «в горизонтальном направлении» больше, чем в вертикальном, а глазомерное сравнение длины параллельных горизонтальных линий может быть произведено с точностью до 1%, тогда как для вертикальных такая точность недостижима. Поворот глаза в вертикальной плоскости требует большего мышечного напряжения, чем аналогичный поворот в горизонтальной плоскости, а так как мышечное напряжение может выступать как мерило пути, то вертикальные расстояния кажутся нам больше равных им горизонтальных. Поэтому большинство людей обладают способностью преувеличивать вертикальные протяженности по сравнению с горизонтальными, и это также приводит к иллюзиям зрения. Вот несколько примеров этих иллюзий (рис. 53—58).

Если предложить ряду лиц 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 (см. рис. 40).

Вероятно, не только затратами мышечной энергии при перемещении глаз можно объяснить причины появления иллюзий во всех этих случаях. Не исключено, что именно поправка, вносимая нами к видимой вертикальной протяженности предметов, приводит к переоценке вертикальных линий. У фигур рис. 53—55 сравниваемая горизонтальная

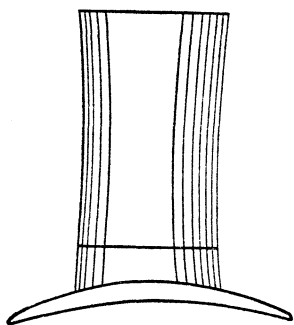


Рис. 53. Высота шляпы-цилиндра кажется больше, чем ширина полей, хотя они равны.

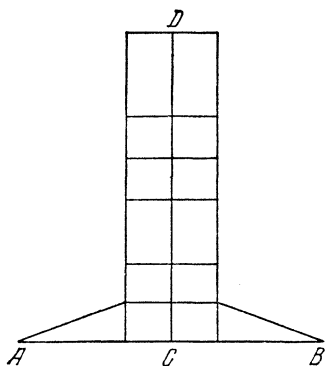


Рис. 54. Высота CD фигуры кажется больше ее основания AB , хотя $AB=CD$.

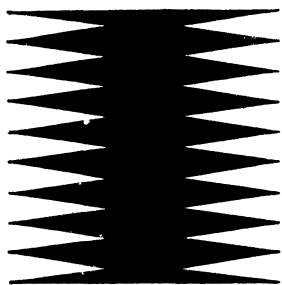


Рис. 55. Высота черной гребенки кажется больше ее ширины, хотя они равны. Поворотом фигуры набок легко добиться исчезновения иллюзии.

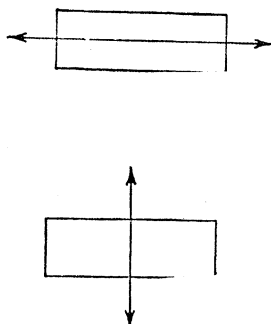


Рис. 56. Нижний прямоугольник кажется короче и шире верхнего, хотя эти фигуры равны.

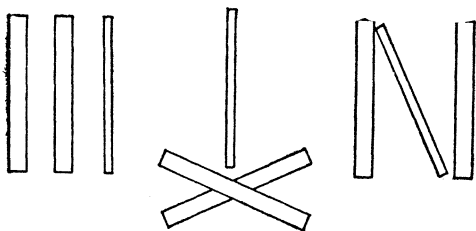


Рис. 57. Три вертикальные полосы слева имеют одинаковую высоту, но если их расположить, как показано в центре рисунка, или так, как показано справа, то узкая полоска кажется длиннее двух широких.

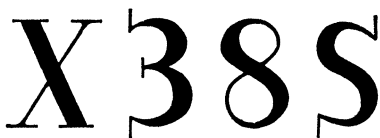


Рис. 58. Верхние части типографских знаков кажутся равными по высоте нижним, хотя они на самом деле меньше нижних, в чем можно убедиться, перевернув рисунок.

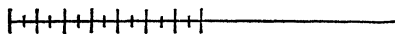


Рис. 59. Заполненное пространство кажется длиннее незаполненного.

протяженность замаскирована; в первом случае изгибом полей шляпы-цилиндра, во втором трапециевидной нижней частью фигуры с острыми углами и в третьем гребенчатой формой боковых граней фигуры. Поэтому при поворачивании этих фигур на 90° сравниваемые протяженности фигур должны меняться местами (что и происходит, например, с фигурой рис. 60). Поправки к видимой новой

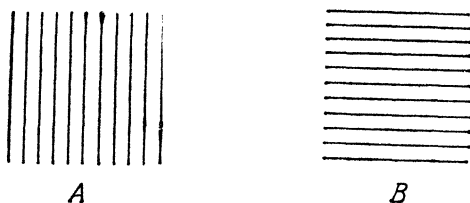


Рис. 60. Правый заштрихованный квадрат кажется уже и выше левого.

вертикальной протяженности фигур теперь не вносятся из-за особой конфигурации рисунка и таким образом иллюзорные восприятия размеров фигур местами не меняются.

Вертикальные параллельные линии при значительной их длине кажутся обычно в верхней части слегка расходящимися. Заметим, что горизонтальные кажутся всегда сходящимися. Это обстоятельство учитывается, между прочим, в архитектуре, где высокие колонны, для того чтобы они казались нам правильно параллельными, делаются вверху слегка сходящимися. Так, например, построена колоннада Парфенона в Греции.

Заметим, что вследствие преувеличения вертикальных линий в архитектуре приходится считаться еще и с таким обстоятельством. Если глаз фиксирует горизонтальную прямую, находящуюся на одном уровне, то выше лежащие прямые кажутся искривленными. Для устранения этого кажущегося архитектурного недостатка приходится принимать соответствующие меры.

К рассматриваемой группе иллюзий близко примыкают иллюзии заполненного пространства (рис. 59—61). Заполненное пространство, по которому глаз скользит горизонтально, удлиняется. Так, например, на море все расстояния кажутся меньшими, так как беспредельный простор

моря является пространством неподделенным. Здания, украшенные фигурами и орнаментами, кажутся нам больше своей действительной величины.

На рис. 60 нам кажется, что правая фигура *B* уже и выше (взгляд скользит по вертикали) левой фигуры *A*. На самом деле и *A*, и *B* — правильные заштрихованные квадраты.

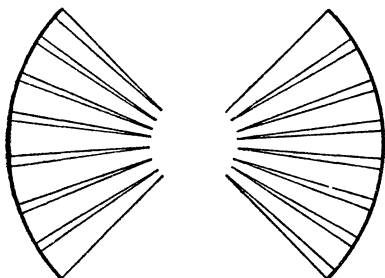


Рис. 61. Заштрихованные секторы кажутся меньше незаштрихованных. На самом деле это равные квадранты одного и того же круга.

Значит, заполненное пространство нам кажется всегда шире незаполненного и по горизонтали, и по



Рис. 62. Иллюзия трубки. Левые черточки кажутся более длинными, чем правые, хотя те и другие имеют одинаковую длину. Точно так же площадь правой фигуры кажется большей, хотя ясно, что площади равны.

вертикали. Однако это не всегда так, и многое зависит от направления, по которому скользит наш взгляд, стремясь воспринять фигуру (рис. 61).

Возможны, между прочим, случаи неправильного восприятия и сравнения горизонтальных линий (рис. 62).

6. Преувеличение острых углов

Многие иллюзии объясняются способностью нашего зрения преувеличивать видимые нами на плоских фигурах острые углы. Во-первых, возможно, этого рода иллюзии появляются из-за явления иррадиации, так как расширяется видимое нами светлое пространство около темных линий, ограничивающих острый угол. Во-вторых, возможно также, острый угол увеличивается по причине общепсихологического контраста, так как часто острые углы лежат рядом с тупыми, и влияние оказывает обстановка. В-третьих, большое значение для возникновения этих иллюзий имеет направление движения глаз и их подвижность вообще.

Если имеется излом линий, то наш глаз в первую очередь «схватывает» острый угол, так как ось поля зрения перемещается сначала по кратчайшему направлению и лишь затем обследует стороны тупых углов. Тот факт, что эта иллюзия действительно зависит от движения глаз, подтверждается тем, что при освещении поля зрения кратковременными вспышками многие из иллюзий этого рода не наблюдаются, так как глаз за время вспышки не успевает переместиться для обзора и острых, и тупых углов фигуры.

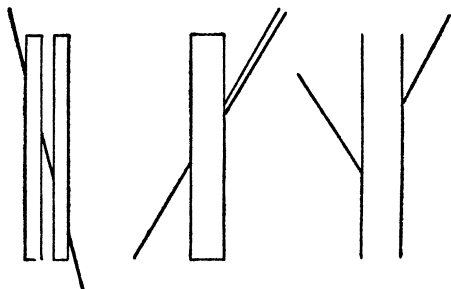


Рис. 63. Отрезки прямых линий, пересекающих параллели под острыми углами, кажутся смещенными и либо не принадлежащими одним и тем же прямым (слева и в центре), либо не являющимися сторонами одного угла (справа). [Иллюзия Поггендорфа.]

В архитектуре, в частности, чтобы избежать иллюзии искривления действительно параллельных линий, пересекаемых линиями, образующими с первыми острые и тупые углы, применяют специальную разбивку деталей и отдают предпочтение радиальным линиям.

Человек изменяет направление движения своих глаз с известным усилием, и поэтому в архитектуре применяются особые способы постепенного замедления движения глаз перед тем, как они должны изменить направление движения. Лучшим примером этого являются капители и базы колонн, задерживающие на себе движение нашего взгляда снизу вверх и, наоборот, сверху вниз вдоль ствола колонн. Наконец, в некоторых случаях возможно преувеличение видимых острых углов и вследствие астигматизма глаза. Во всяком случае, всегда острые углы нам кажутся большими, чем есть на самом деле, и поэтому появляются опре-

деленные искажения в истинном соотношении частей видимой фигуры. Здесь приводится несколько зрительных иллюзий, возникающих из-за переоценки острых углов (рис. 63—70). На рис. 65—67 представлены простейшие иллюзии, обусловленные преувеличением острых углов.

Когда мы смотрим на две линии, отделенные промежутком, мы в состоянии соединить их «в уме» и определить, составляет одна из них продолжение другой или нет. Если же мы к одной из этих линий проведем другую так, чтобы они образовали острый угол, уверенность нашей оценки сразу исчезнет. Например, на рис. 66 продолжение *A* кажется ниже линии *B*, а продолжение *C* кажется находящимся направо от *D*. Чтобы иллюзия исчезла, нужно закрыть линию *C* или *A*. Углы могут изменить и кажущуюся длину линий, в чем легко убедиться, взглянув на рис. 22 и 24.

Заметим, что иллюзия исчезает, если мы выберем другую позицию наблюдения, т. е. появление иллюзии зависит от «точки зрения» на данный объект. Так, если на рис. 68, 69 и 70 посмотреть вдоль параллельных прямых, совмещая плоскость рисунка с направлением взгляда, то иллюзия исчезнет. Иллюзия может не наблюдаться, если этому не способствуют условия наблюдения. Следовательно, иногда мы можем видеть то, чего нам не удастся заметить в другой обстановке.

На этом принципе основано рассматривание так называемых загадочных картинок и чтение загадочных надписей. Эти картинки рисуют, умышленно увеличивая вертикальную протяженность предметов и сильно сокращая горизонтальную, а надписи пишут так, чтобы они состояли из букв, умышленно растянутых по высоте и узких в горизонтальном направлении (рис. 71). Совмещая плоскость листа с плоскостью оптических осей глаз, мы сокращаем видимые вертикальные размеры букв и свободно читаем эту «загадочную» надпись.

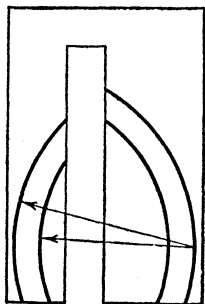


Рис. 64. Кажется, что при продолжении левые дуги не сойдутся с правыми, на самом деле они сходятся. Такого рода иллюзии можно часто наблюдать в зданиях, имеющих сводчатые потолки, двери или окна. Кажется, что линии свода, рассеченные впереди стоящей колонной, не сходятся.

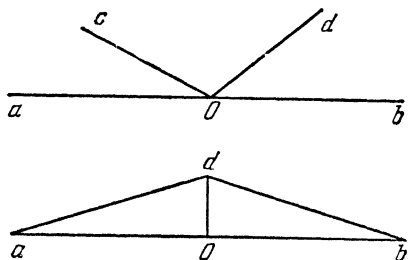


Рис. 65. Прямая ab кажется надломленной в точке O , причем сверху «угол» aOb кажется меньше 180° , а внизу больше 180° .

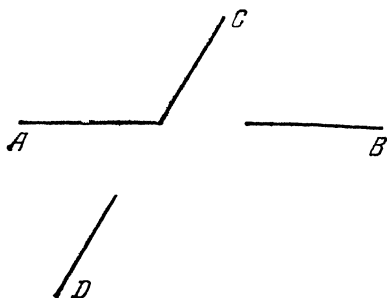


Рис. 66. Являются ли отрезки A и B , а также отрезки C и D продолжением один другого?

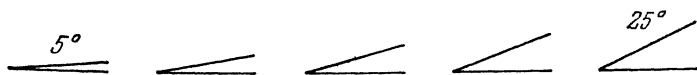


Рис. 67. Каждое последующее увеличение угла кажется больше предыдущего, хотя во всех случаях разница составляет 5° .

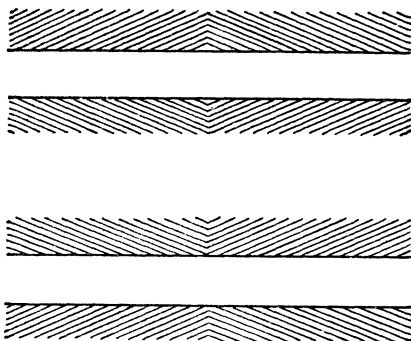


Рис. 68.

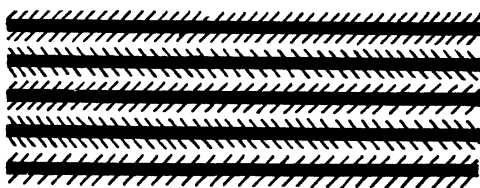


Рис. 69.

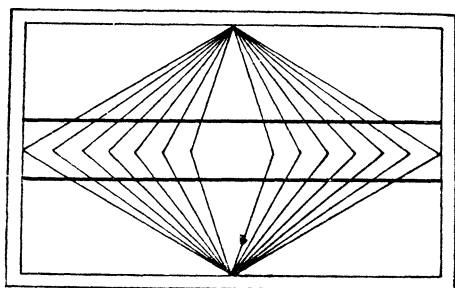


Рис. 70. Параллельные прямые линии вследствие влияния фона кажутся непараллельными и изогнутыми.

Оказывается, если фигуры рис. 68, 69 и 70 рассматривать при кратковременной вспышке света, то иллюзия исчезает.

Следует заметить, что иногда изменение направления линий и искажение формы фигуры происходит также и от того, что глаз следит за направлениями других линий, находящихся в поле зрения. Таким образом, возможны случаи сочетания причин, вызывающих иллюзию зрения,

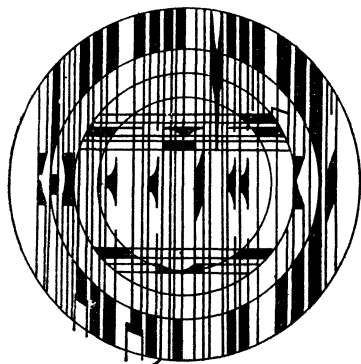


Рис. 71. Прочтите арабскую поговорку.

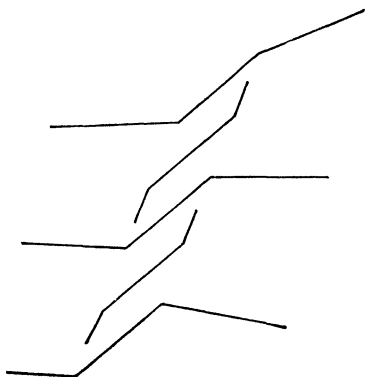


Рис. 72. Средние части линий этой фигуры параллельны, но кажутся непараллельными.

например преувеличение острых углов и психологический контраст или одного из указанных обстоятельств и того, что взгляд при обозревании фигуры скользит по окружающим ее линиям фона (рис. 72—78) *).

Следует заметить, что подавляющее большинство иллюзий зрения, приведенных нами в п. 4, 5 и 6, могут быть при желании устранены соответствующим изображением линий и фигур на тех чертежах и рисунках, где эти иллюзии могут появиться. Например, все те отрезки на рис. 21—45, которые кажутся нам большими, можно умышленно изобразить меньшими; кривые, углы, окружности, кажущиеся меньшими, можно умышленно увеличить; прямые, кажущиеся кривыми, можно изобразить кривыми так,

*) На иллюзии рис. 75, 76 впервые указал приват-доцент Московского университета П. А. Преображенский.

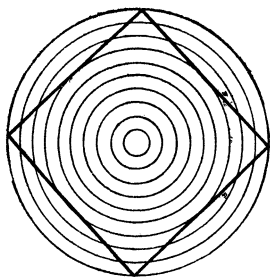


Рис. 73. Прямолинейные стороны квадрата кажутся искривленными, а весь квадрат — деформированным.

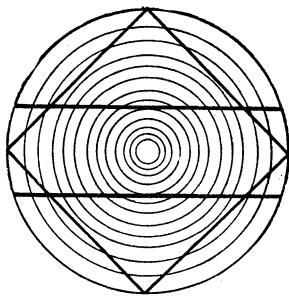


Рис. 74. Стороны квадрата и прямые кажутся искривленными, непараллельными.

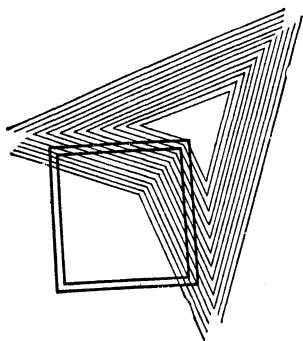


Рис. 75. Правый верхний угол квадрата кажется не прямым, а острым.

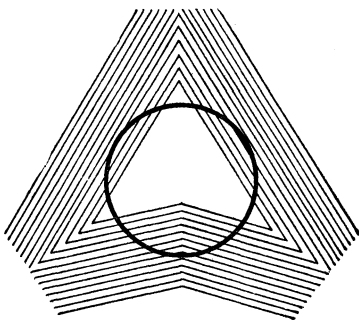


Рис. 76. Круг кажется овалом.

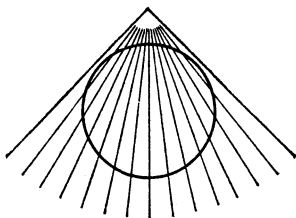


Рис. 77. Круг кажется овалом, симметричным относительно биссектрисы угла.

чтобы они казались прямыми, и т. д. (рис. 78). Этими возможностями широко пользуются художники, на что еще в 1774 г. указывал Л. Эйлер, который писал: «Живописцы наипаче умеют обращать в пользу сию общую и всем сродную обманчивость», и далее пояснял: «На сей обманчивости все живописное художество основано. Ежели мы привыкли судить о вещах по самой истине, то бы сие искусство не могло иметь места, равно как и когда бы мы были слепы».

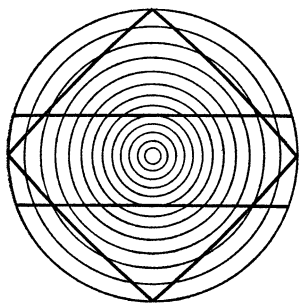


Рис. 78. Преднамеренное искривление прямых рис. 74 может создать впечатление, что на фоне концентрических окружностей начерчены правильный квадрат и параллельные прямые (иллюзия исчезнет).

Как уже было указано ранее, архитекторы также очень часто встречаются с необходимостью исправления ошибочного зрительного впечатления, создаваемого некоторыми частями сооружений. Уже архитекторы Древней Греции преднамеренно вносили соответствующие коррекции (исправления) кажущейся кривизны, возникающей вследствие иллюзий зрения при наблюдении элементов, расположенных значительно выше горизонта. Аналогичные коррекции внесены в 1764 г. при сооружении портика в здании Пантеона Суффло в Париже.

Иллюзии, основанные на нашей способности ассимиляции (рис. 45—50), устранить труднее, но в этом случае мы можем избежать обмана зрения, пользуясь такими простейшими приспособлениями, как линейка и циркуль.

В редких случаях устранять иллюзию нецелесообразно, например в случае типографского шрифта (рис. 58).

7. Меняющийся рельеф и перспектива

Несколько интересных зрительных иллюзий имеют место при условиях изменяющегося видимого нами рельефа или глубины рисунка. Возникновение этих иллюзий связано, с одной стороны, с явлениями аккомодации и конвергенции глаз, т. е. с их способностью видеть предметы на разных расстояниях, со способностью воспринимать пространство по яркости предметов, по их теням и по числу

промежуточных объектов. С другой стороны, эти иллюзии возникают и в процессе осмысливания видимого. Огромная

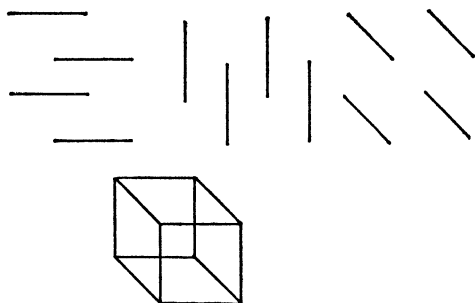


Рис. 79. Отдельно вычерченные грани куба не способны создать впечатления пространственной фигуры.

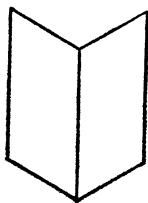


Рис. 80. Что это? Раскрытая книга корешком к нам или корешком от нас?

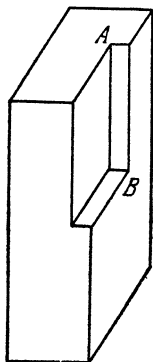


Рис. 81. Это или пластинка с выемкой (задняя грань выемки AB), или три стенки ящика, к которым прижата пластинка (передняя грань пластинки AB)?

роль в исправлении пространственного восприятия принадлежит мозгу. В этом случае работа мозга, ясно не сознаваемая нами, совершается так же, как и при переворачивании обратных и при выпрямлении криволинейных изображений, получающихся на сетчатках наших глаз. Примеры иллюзий этого рода представлены на рис. 79—87. При рассматривании рис. 80—87 изменения видимых

нами рельефных изображений могут наступать как по нашему желанию, так и произвольно и иногда даже наперекор нашему желанию.

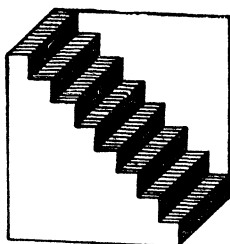


Рис. 82. Это или лестница, или ниша, или «гармошка» из полоски бумаги? Нетрудно убедиться, что видимость разных предметов зависит здесь от того, как направлен ваш взгляд. Если прежде всего направить взор на левую часть рисунка, будет видна лестница. Если взгляд скользит по рисунку справа налево, будет видна ниша. Если же взгляд следует по диагонали от нижнего правого края к верхнему левому, будет видна бумажка, сложенная «гармошкой».

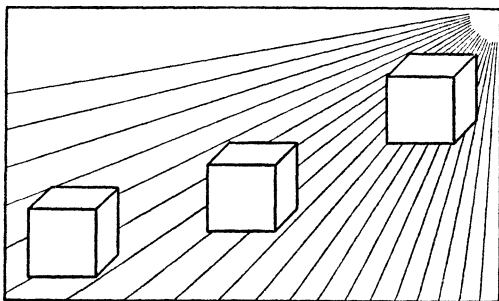


Рис. 83. Правый куб кажется больше левого, хотя все три куба одинаковы. Сходящиеся линии мы воспринимаем как нарек на глубину пространства.

Например, на рис. 87 изображена стеклянная призма, и от нас зависит увидеть ребро ab передним, а bc задним или наоборот, увидеть A снаружи призмы, а B внутри или тоже наоборот. Призма, наконец, может быть полрой,

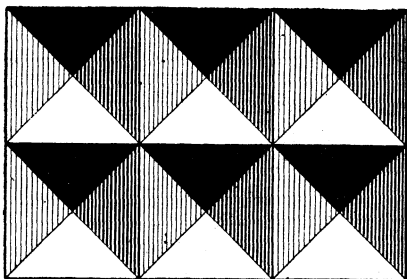


Рис. 84. Присмотритесь! Выпуклые или вогнутые фигуры здесь изображены?

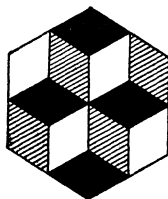


Рис. 85. Сколько здесь кубиков и как они расположены?

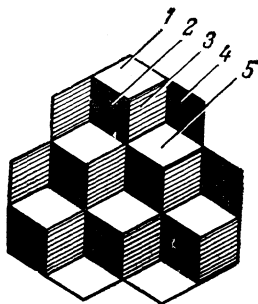


Рис. 86.

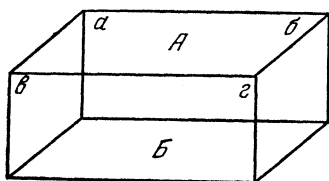


Рис. 87. Как расположена эта призма? Какое ребро, ab или $вг$, ближе к нам? Какие грани помечены буквами А и Б?

и грань *A* (или грань *B*) может отсутствовать вовсе. Для решения этих вопросов требуется некоторое напряжение зрительного аппарата, после чего мы в состоянии увидеть на рис. 87 то, что нам заблагорассудится. Если бы на призме части ребер, скрытые гранями, не были вычерчены, мы видели бы только одно, совершенно определенное положение призмы в пространстве. Точно так же, если рассматривать только две проекции двух прозрачных стеклянных ваз (рис. 88), не видя третьей проекции, трудно себе

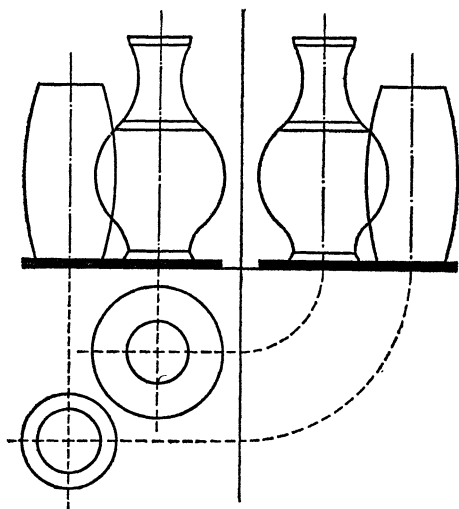


Рис. 88. Закрыв нижнюю часть рисунка (пунктирный план), попробуйте определить, как расположены вазы в пространстве. Касаются ли они друг друга?

представить, которая из ваз расположена ближе к нам и касаются ли друг друга эти вазы. После построения третьей проекции мы уверенно и строго определяем, что бочкообразная ваза стоит ближе к нам и что вазы не соприкасаются.

У нас выработалась привычка считать, что предмет, изображенный на рисунке, освещался слева, а тени его на изображении располагаются справа и снизу. На этом основании мы изображение мальтийского креста (слева на

рис. 89) принимаем за выпуклую фигуру. Но вот по ошибке клише этого рисунка перевернули, и каждый, пожалуй, скажет, что крест справа представляет собой углубленную фигуру.

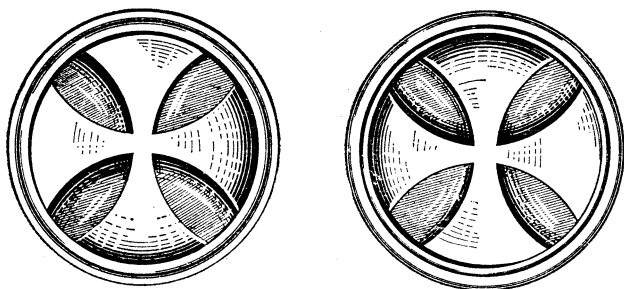


Рис. 89.

Наши глаза аккомодируют в соответствии с тем, на чем мы фиксируем свое внимание, и в соответствии с этим мы видим одни части фигуры ближе, а другие дальше.

Предметы, находящиеся от нас на большом удалении, кажутся нам маленькими благодаря тому, что угол, образованный лучами, падающими от крайних точек предмета на зрачок глаза, уменьшается. Этот угол называется углом зрения.

Какая из вертикальных линий, изображенных на рис. 90, самая длинная? Кажется, что крайняя слева. Однако все

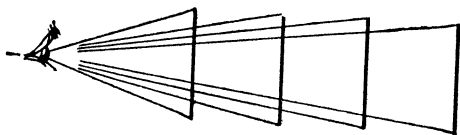


Рис. 90.

вертикальные линии одинаковой длины. Эта фигура поясняет образование угла зрения, а иллюзия объясняется тем, что левая линия стягивает наибольший угол зрения, а другие углы являются лишь его частями.

Явление видимой сходимости параллельных линий вдаль (полотно железной дороги, шоссе и т. п.) называется перспективой. Чтобы изобразить на рисунке некоторую

часть пространства, заполненную предметами, и чтобы этот рисунок производил впечатление действительности, необходимо уметь пользоваться законами перспективы. Все линии на этом рисунке, идущие в действительности параллельно земной поверхности, должны быть изображены сходящимися в некоторой точке горизонта, называемой «точкой схода». Выбор уровня земной поверхности и горизонта, а также «точки схода» может быть произвольным,

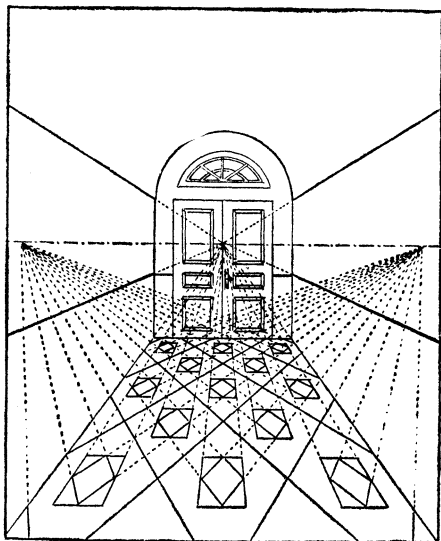


Рис. 91.

Линии же, идущие под разными углами, должны сходиться по ту или другую сторону «точки схода» тем дальше от нее, чем под большим углом к линии прямого зрения они проходят. Из этих точек особенно замечательной является точка, где сходятся линии, идущие под углом в 45° к линии прямого зрения; эта точка называется «точкой отдаления». Она замечательна тем, что удалена от «точки схода» на то расстояние, на которое был удален глаз художника от картины, когда он ее писал. Для рассматривания картины выгоднее всего помещать глаз в «точку отдаления». В том, какое это имеет значение, легко убедиться, рассматривая рис. 91. Если смотреть на этот ри-

сунок издали, то он производит впечатление плоского. Если же поместить глаз против «точки схода» на расстоянии 3,5 см от рисунка (равном расстоянию от «точки схода» до «точки отдаления»), то рисунок производит впечатление объемности *). Изображенный на нем коридор уходит вглубь, пол его состоит из правильных квадратов, а потолок кажется сводчатым. От выбора высоты горизонта и точки отдаления в сильной степени зависит вид изображаемых предметов на рисунке и реалистичность всей картины. Известна, например, «лягушачья перспектива», когда точка схода очень низка, и известна перспектива «птичьего полета».

Кроме линейной перспективы, в живописи считаются еще с воздушной перспективой, т. е. с различной яркостью предметов, находящихся на переднем, среднем и заднем планах картины из-за поглощения и рассеяния света в воздухе.

Перспективное восприятие пространства, выработанное многовековой эволюцией зрения, человек переносит и на рассматриваемые им картины и фотографии, на которых изображены разно удаленные предметы (рис. 92—94). Наряду с нормальной перспективой современной живописи существует так называемая обратная перспектива. В том, что такая перспектива существует, легко убедиться, проделав следующий опыт. Спичечную коробку поместим перед глазами на уровне кончика носа и на расстоянии 10 см от него так, чтобы сторона с рисунком была обращена вверх. Рассматривая коробку в этом положении двумя глазами, заметим, что более удаленный ее конец кажется шире ближайшего. Это можно объяснить тем, что ширина предмета в этом случае меньше расстояния между глазами, и мы имеем дело с иллюзией зрения.

Однако почему же на рисунках и иконах живописцев Древней Руси все предметы независимо от их размеров изображены именно в обратной перспективе? В этом можно убедиться, рассматривая, например, изображение «Троицы» из иконостаса Троицкого собора в г. Загорске, хранящееся теперь в Третьяковской галерее. Эта картина (рис. 95) написана великим художником Древней Руси Андреем Рублевым. Здесь доски под ногами ангелов справа и слева

*) Надо пользоваться увеличительным стеклом, которое следует прижимать плотно к глазу.

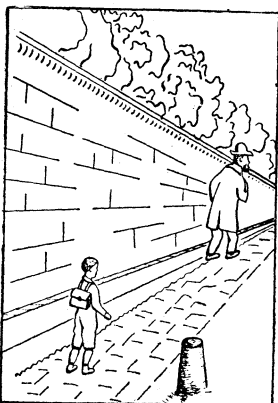


Рис. 92. Вследствие несоблюдения правил перспективы фигура старика, идущего впереди, кажется намного выше фигуры мальчика, идущего сзади, хотя фигуры одинаковы.

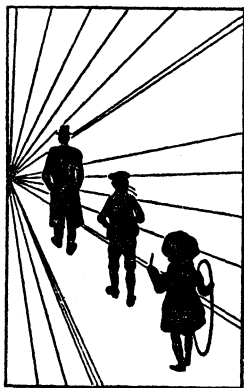


Рис. 93. Из всех фигур самая высокая фигура девочки, идущей сзади. Несоблюдение правил перспективы во всех деталях рисунка искажает видимые размеры.

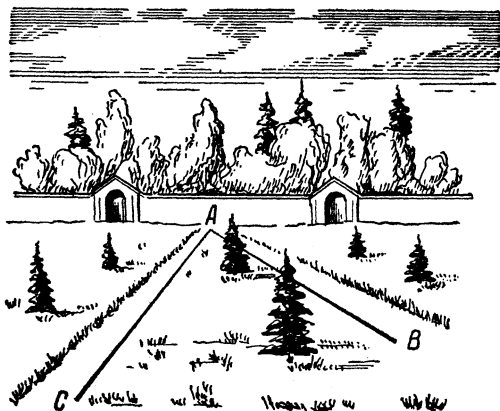


Рис. 94. Какое расстояние больше: AB или AC ? Неправда ли, AC больше? А теперь измерьте.

узкие на среднем плане и широкие на заднем, стол почти параллелен плоскости картины и на заднем плане шире, чем на переднем. Больше того, на иконе «Омовение ног», написанной также А. Рублевым, даже архитектурные сооружения изображены в обратной перспективе. Русский художник второй половины XV и начала XVI в. Дионисий



Рис. 95. Изображение «Троицы» А. Рублева, исполненное в обратной перспективе.

на своих фресках многие предметы пишет также в обратной перспективе. Некоторые историки живописи указывают, что художники древности вообще не уделяли внимания перспективе, и новая фаза в этом отношении наступила якобы с XV в. Известно, что воздушная перспектива начала применяться наряду с линейной только в XVII в.

«Пренебрежение» перспективой наблюдалось и у западноевропейских живописцев древности. Так, например, некий германский живописец в 1420 г. изобразил в картине «Райский сад» все предметы в обратной перспективе. Однако, убедившись в существовании обратной перспективы, мы все же не можем сделать вывод, что расстояние между глазами у древних живописцев было больше размеров тех

сооружений, которые они изображали. Почему же они все-таки применяли обратную перспективу? На этот вопрос еще никто не дал удовлетворительного ответа.

Использование правил перспективы в живописи позволяет получить достаточно полное сходство живописного

рельефа на плоской поверхности картины с видимыми размерами предметов и светотенями в действительности. Знание правил перспективы и следование им неизбежно предполагает проникательное наблюдение природы.

«Смотри в оба», говорят человеку, поручая ему ответственное дело. Однако человек в определении больших расстояний способен ошибаться. Например,

Рис. 96. Линии ab и cd кажутся ли вам вертикальными для обоих глаз?

житель равнин ошибочно определяет расстояние в гористых местах, где, по причине высокой прозрачности воздуха и непривычных для глаза размеров гор, все предметы кажутся гораздо ближе.

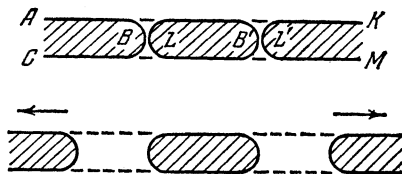


Рис. 97.

Решающее значение в восприятии рельефа и перспективы имеет зрение двумя глазами, в чем легко убедиться, пользуясь рис. 96—99.

Так, на рис. 96 прямая ab кажется не вертикальной для правого глаза, а прямая cd для левого. Вертикальными и перпендикулярными к AB кажутся линии, намеченные короткими отрезками $a\beta$ и $\gamma\delta$.

Эта иллюзия происходит оттого, что когда мы хотим опустить взор, то совершенно произвольно глаз поворачи-

чивается несколько внутрь, когда мы следим взглядом снизу вверх, то глаз невольно поворачивается наружу. Поэтому движение глаза, совершаемое таким образом, кажется нам вертикальным, а если нам дается действительно вертикальная прямая, то она должна казаться нам несколько наклоненной.

Действие каждого глаза поясняет еще и такой опыт, который тоже приводит к зрительной иллюзии. Соединим перед собой на расстоянии 35—50 см концы указательных пальцев так, чтобы они составляли продолжение один другого, и посмотрим «сквозь пальцы» на удаленную стенку. Нам будет казаться, что между пальцами зажата маленькая «сарделька», которая, если немного раздвинуть пальцы, повисает в воздухе (как схематически показано на рис. 97).

Длина «сардельки» будет тем больше, чем дальше будет находиться рассматриваемый «сквозь пальцы» предмет. Объясняется эта иллюзия тем, что правым глазом мы не видим часть стены, ограниченную линиями ABC и KLM ,

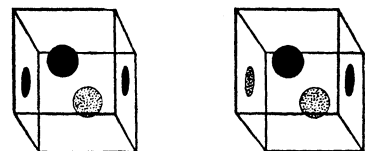


Рис. 99. Так этот стеклянный кубик представляется отдельно левому и правому глазу. После определенной тренировки можно научиться видеть объемное изображение этого кубика. Нужно только обязательно поставить перегородку, начиная от плоскости страницы (между изображениями) и до носа.

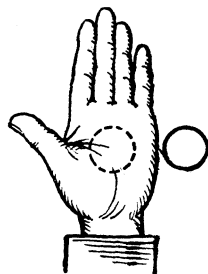


Рис. 98.

а левым — часть стены, ограниченную линиями $AB'C$ и $KL'M$. В итоге совсем невидимая часть стены и имеет вид «сардельки». Наконец, еще одно интересное наблюдение. Если смотреть правым глазом через трубку на какой-нибудь предмет, а ладонью левой руки, касающейся трубки, заслонить предмет от левого глаза, то у нас создается впечатление, что предмет виден и левым глазом, но сквозь «дырку в ладони» (рис. 98).

Если на плоском рисунке мы и различаем в какой-то степени объем и удаленность предметов, то это достигается благодаря побочным признакам, связанным с опытом: видимой величиной предметов, тем, что одни предметы

загораживают другие предметы, и т. д. Рассматривая какой-либо чертеж, мы, вполне сознательно пользуясь условным изображением объекта, определяем форму деталей.

Если есть два изображения предмета, полученные раздельно «с точки зрения» правого и левого глаза, то нетрудно получить объемное изображение предмета. Для этого нужно рассматривать эти изображения, установив перегородку (например, лист бумаги) между глазами (от плоскости рисунка до самого носа). После некоторой тренировки кубик, изображенный на рис. 99, можно увидеть объемным. Известно, что наиболее отчетливое наблюдение перспективных изображений на специальных рисунках производится с помощью стереоскопа — оптического прибора, совмещающего два отдельных изображения предмета, полученных так, как их видит отдельно правый и левый глаз человека.

Впервые зеркальный стереоскоп был построен в 1838 г. английским физиком-экспериментатором Уитстоном.

Обратим внимание на следующее интересное явление. Что если в стереоскоп поместить рис. 60? Казалось бы, правая и левая половина рисунка сольются, и мы будем видеть сетку из горизонтальных и вертикальных линий. Однако этого не произойдет. Если же мы повернем левую половину рис. 60 так, чтобы на обеих его половинах были только горизонтальные линии, то рисунки сольются, и мы будем видеть одни линии дальше, а другие ближе, за счет неточности вычерчивания. Наблюдаемое таким способом явление несовпадения рисунков называют «спором полей зрения».

Известный американский физик Р. Вуд в одной своей работе 1901 г. описал явление псевдоскопии, т. е. ложного видения, наблюдаемое им при следующих обстоятельствах. При рассматривании с расстояния в 25 см карандаша, помещенного на расстоянии 25—50 мм от оконной проводочной решетки, видимой в свою очередь на фоне светлого неба, зрительные оси глаз пересекаются на карандаше — и он виден отчетливо. Решетка же в этих условиях кажется размытой и как бы удвоенной. Сводя зрительные оси глаз для совмещения изображений двух вертикальных проволок решетки, находящихся справа и слева от карандаша, появляется «третья» проволока впереди карандаша и посередине между двумя фиксированными вертикальными проволоками. Эта третья проволока как бы заслоняет карандаш

и кажется тоньше двух первых. Заметим, что подобный опыт можно проделать с двумя карандашами, с ниткой одинаковых круглых бус или с другими одинаковыми периодически повторяющимися предметами. Во всех этих случаях иллюзия наступает из-за затруднения в выборе нужной конвергенции.

Ложное стереоскопическое видение наблюдается при косоглазии. При установлении наличия этого дефекта зрения и его лечении пользуются специальными псевдоскопическими таблицами. На рис. 100 приведена псевдостереоскопическая пара, у которой различия изображений в правом и левом глазу и такой нестереоскопический фактор,



Рис. 100.

как линейная перспектива, действуют в противоположных направлениях. Здесь самые мелкие птицы находятся далеко впереди крупных, хотя соотношение размеров птиц (линейная перспектива) говорит против этого пространственного впечатления.

На принципе использования глубинного стереоскопического зрения построены специальные приборы, при помощи которых теперь измеряют расстояния с высокой точностью. В настоящее время при помощи специальных (растровых) линзовых экранов стереопары кинокадров демонстрируются в стереоскопических кинотеатрах, где для всех зрителей создается впечатление рельефности и перспективности изображений.

Значительно раньше, чем появился стереоскоп, строились так называемые панорамы. Это — картины, пред-

ставляющие для зрителя ландшафты или сцены так, как если бы зритель сам находился среди них. Для этого полотно на которое они наносятся, натягивается в круглом здании и окружает таким образом зрителя со всех сторон. Зрители находятся на смотровой площадке в центральной части здания и окружающего их полотна. Для усиления эффекта от смотровой площадки по всем радиальным направлениям простирается предметный план, на котором

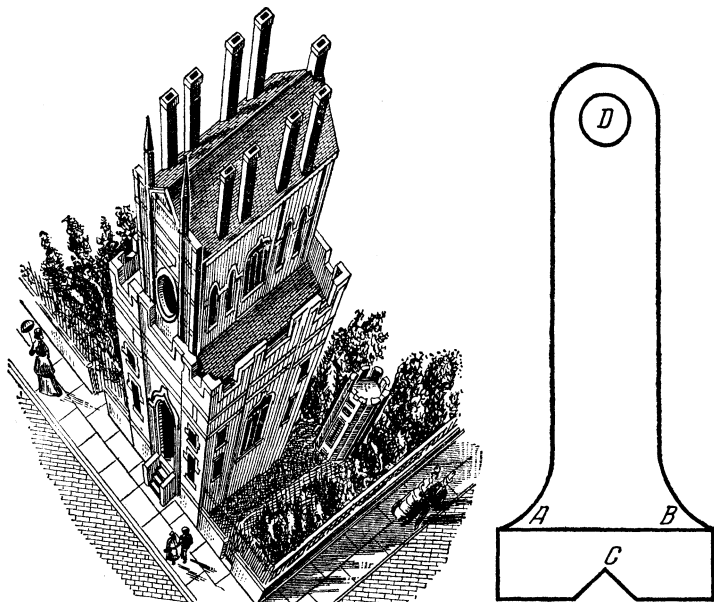


Рис. 101.

расположены макеты и подлинные образцы тех предметов, которые могли находиться во время событий, отображаемых панорамой. Перспектива изображения в этом случае рассчитана на то, чтобы зритель рассматривал ее, находясь в определенном положении (точка отдаления). Если же рассматривать картину с другого положения, то изображения многих предметов могут казаться сильно искаженными. Степень искажения плоскостного рисунка может быть настолько велика, что мы считаем этот рисунок загадочным или не отображающим реальные предметы. Например, посмотрим рис. 101. Здесь дом изображен в таком виде,

каким в обычных условиях его никогда не приходится видеть: он имеет необычно длинные трубы, он узкий у фундамента и необычайно широкий у крыши. Беседка на рисунке падает, деревья растут наклонно и в разные стороны, женщина слева падает вперед, а пара, идущая справа, — назад. Однако этот загадочный вид получился потому, что этот плоскостной рисунок не передает нам впечатление перспективы «птичьего полета».

На этом рисунке, пользуясь карандашом и линейкой, можно найти точку схода. Для этого надо продолжить до пересечения, например, две линии, изображающие ребра углов фасада, — точка схода окажется внизу. Вместо того чтобы искать построением точку отдаления, можно воспользоваться фигурой, изображенной справа на рис. 104. Если такую фигуру вырезать из плотной бумаги (расстояния от центра отверстия D до линии AB — 55 мм, до точки C — 61 мм, диаметр отверстия D — 6 мм), перегнуть ее по линии AB , а затем поставить на рис. 101 так, чтобы точка схода находилась в вершине выемки C , и смотреть одним глазом в отверстие D , то... вся видимая картина изменится. Загадочность постройки исчезнет, деревья и беседка будут казаться стоящими вертикально по отношению к земле, идущие люди примут нормальное положение. Больше того, рисунок станет рельефным, и мы скажем, что это не просто изображение, а панорама. Рассматривая рисунок, мы убедимся, что художник изобразил вид, представившийся ему с воздушного шара — «точка отдаления» была выше дома. Положение фигур, тени и отдельные линии этого рисунка могут быть восприняты нами как реальные только при наблюдении из того положения, в каком находился художник.

Американский писатель Эдгар По в своем рассказе «Сфинкс» описывает, как герой этого рассказа увидел в окне чудовище, спускающееся с холма в лес. На самом деле это была бабочка, спускающаяся вблизи оконного стекла по паутине на фоне безлесного холма.

Главным источником ошибок при многих исследованиях является склонность человека придавать недостаточное или чрезмерное значение исследуемому предмету в зависимости от расстояния до этого предмета, причем это расстояние очень часто определяется неверно.

Человек видит достаточно отчетливо только те предметы, которые находятся в центральной части его поля зрения.

Таким образом, поле ясного видения стягивается для желтого пятна углом всего лишь в $6-8^\circ$, а для центральной части сетчатки — углом не более 40° . Другие предметы, находящиеся вне пределов этого угла, глаз воспринимает нечетко — периферическим зрением. Но именно периферическое зрение дает нам возможность «чувствовать» окружающее пространство.

С недавнего времени в наших городах появилось так называемое панорамное кино, в котором на цилиндрический экран проектируются пленки, снятые несколькими аппаратами, расположенными так, что их углы зрения являются секторами одного круга. Эти картины заполняют не только центральную, но и периферическую часть поля зрения, благодаря чему создается так называемый эффект присутствия, т. е. у зрителя создается впечатление, будто бы он сам присутствует при тех событиях, которые разыгрываются на экране.

8. Фигура и фон

Укажем здесь на ряд иллюзий зрения, обусловленных влиянием контраста яркости, т. е. отношения разности яркостей объекта и фона к яркости фона. Предметы и фигуры мы привыкли всегда видеть на том или ином фоне. Мы уже указывали (см. п. 6), что при рассматривании фигур мы иногда их части уподобляем фигуре в целом. Там речь шла об общепсихологическом контрасте.

Что же можно сказать о контрастах яркости?

Во-первых, оказывается, что на более темном фоне мы видим фигуры более светлыми и, наоборот, на светлом — более темными. Доказательством этого могут служить фигуры, изображенные на рис. 102—104. Между прочим, иллюзии, происходящие вследствие контраста яркости, показанные на этих рисунках, можно наблюдать и при цветном исполнении этих фигур.

На основании изложенного иллюзию серых пятен на пересечениях черных линий рис. 18 (см. п. 3) частично можно объяснить явлением иррадиации, а частично и влиянием контраста яркости. Наконец, иллюзии рис. 105—107 уже никак нельзя объяснить только явлением иррадиации. Впервые их сопоставил и дал им объяснение в предисловии к своему альбому иллюзий Я. И. Перельман *).

*) Перельман Я. И., Обманы зрения, 1924.

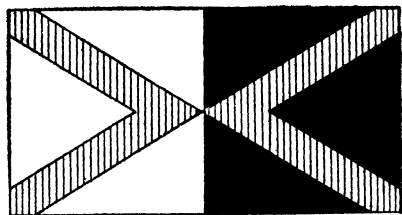


Рис. 102. Заштрихованная фигура справа кажется светлее такой же фигуры на светлом фоне слева.

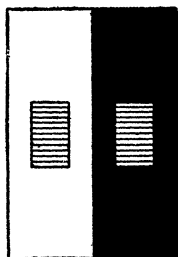


Рис. 103.

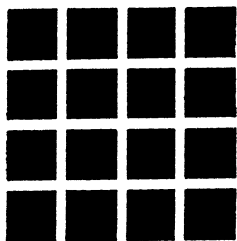


Рис. 104. Перекрестки белых полосок между черными квадратами кажутся серыми.

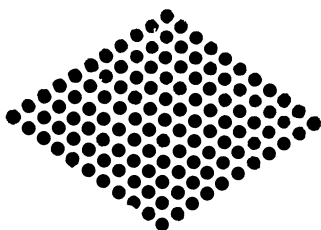


Рис. 105. Кружки кажутся шестигранниками при рассмотрении на близком расстоянии.

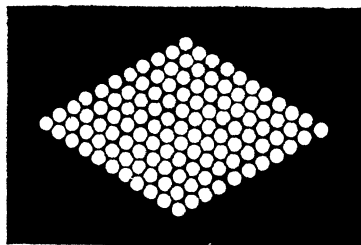


Рис. 106. То же, но при рассмотрении с расстояния, большего, чем на рис. 105.

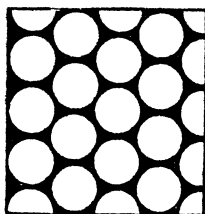


Рис. 107. Кружки также кажутся шестигранниками, хотя они белые, а фон черный.

Во-вторых, интересно явление так называемого краевого контраста, заключающееся в том, что создается впечатление, будто яркости каждого прямоугольника фигуры на рис. 108 не одинаковы, а несколько темнее у границы с более светлым участком и несколько светлее у границ с более темным. Иногда даже кажется, что эти прямоугольники заштрихованы так, чтобы создавалось впечатление их поперечной вогнутости. Однако, заслоня соседние полосы, можно убедиться, что каждая отдельная полоса имеет совершенно однотонную штриховку.

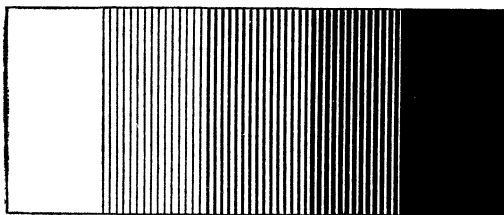


Рис. 108.

В-третьих, при восприятии фигуры и фона мы склонны видеть прежде всего пятна меньшей площади, а также пятна более яркие, «выступающие», причем чаще всего фон нам кажется лежащим дальше от нас, за фигурой. Чем больше контраст яркости, тем лучше заметен объект и тем отчетливее видны его контур и форма. Примеры сказанному мы находим на рис. 109—112.

А на рис. 113 даны изображения двух женщин, очень старой и молодой, причем они имеют одно и то же головное убранство (темная шапочка и светлая шаль), но так как черты лица старой женщины представлены полнее, чем молодой, первая видна более отчетливо, чем вторая. Многие лицо молодой женщины начинают видеть только после продолжительного рассматривания рисунка.

Читателю, взглянувшему мгновенно на горизонтальный верхний или средний ряд черных кружков рис. 114, трудно определить число кружков, помещенных слева и справа от вертикальной черточки. Если же эти кружки расположить по так называемым числовым фигурам, то сосчитать кружки при мгновенном взгляде не представит никакого труда.

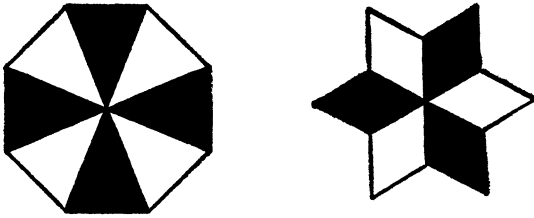


Рис. 109. В первую очередь мы воспринимаем либо только темную, либо только светлую часть фигуры.



Рис. 110. Буква С видна более отчетливо (как более знакомая), чем яркая фигура фона, окружающего букву.

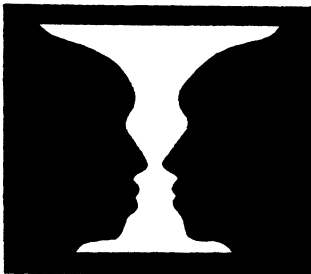


Рис. 111. В первую очередь большинство видит на этом рисунке вазу, а затем два силуэта.



Рис. 112. То же произойдет и при изменении яркости фигуры и фона.

Наконец, интересно также явление «отпадания к фону» некоторых частей фигур. Так, если прямоугольный предмет, окрашенный черной краской, как показано на рис. 115, наблюдать с некоторого большого расстояния на белом фоне, то он будет выглядеть приблизительно таким, каким



Рис. 113. Молодая эта женщина или старая?

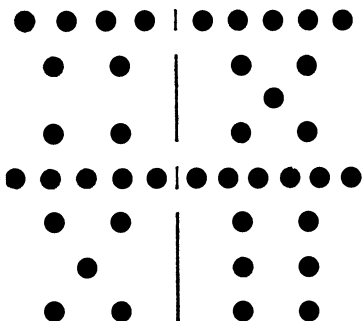


Рис. 114. Кружки, расположенные по числовым фигурам, можно сосчитать мгновенно. А если кружки расположены в линию, можете вы так же быстро определить их число?

изображен на рис. 116. В этом случае белые пятна на предмете, тонкие линии его контура и резкие переходы от фигуры к фону на углах отпадут к фону, и форма предмета



Рис. 115.



Рис. 116.

будет казаться искаженной. Глаз очень часто темное пятно принимает за тень от других рядом стоящих предметов.

Видимая форма и очертание предметов могут искажаться не только вследствие отпадания частей контура к фону, но и такой пятнистой окраской предмета, когда его

контур кажется деформированным, искаженным. Например, трудно сразу сказать, что на рис. 117 изображен силуэт кролика. Иногда пятнистая окраска может заранее учитывать изменение яркости местных предметов и яркости фона при их перемещении, при мерцании воздушной дымки, при волнующейся поверхности моря, при движении облаков и т. п.

На этих принципах основана камуфляжная окраска предметов пятнами разных цветов в целях военной маскировки. Такая же окраска «камуфляж» наблюдается в мире животных и растений, служит для них защитной окраской. По вопросам расположения пятен и подбору маскирующих окрасок различных объектов имеется обширная специальная литература.



Рис. 117.

Приведенные в этом разделе иллюзии еще раз подтверждают то обстоятельство, что их появление во многом зависит от того, какое «толкование» или «оформление» видимого происходит в нашем сознании.

Совсем недавно обратили внимание на свойства муаровых узоров. Муар издавна — французское название особой шелковой ткани с волнообразным мерцанием в световых лучах. Долгие годы муаровый эффект использовался только для украшения одежды, особым образом сплетенных корзин, бамбуковых или тростниковых штор и т. п. Любуясь световыми переливами муаровых узоров, люди давали видимому одно примитивное «толкование» — красиво. Постепенно стали замечать, что эти иллюзорные зрительные явления можно использовать для решения некоторых практических задач. В основе многих применений муаровых узоров лежит их способность усиливать незаметные для человеческого глаза неправильности рисунка.

Еще в 1874 г. английский физик лорд Рэлей предложил использовать муаровый эффект для проверки качества линейчатых дифракционных решеток. Однако только в последние годы эту методику стали широко применять для проверки точности делительных устройств, с помощью которых изготавливаются дифракционные решетки для спектрально-оптических приборов. Известно, что дифракционные

решетки представляют собой зеркальные или прозрачные пластинки, на которых нанесено до 1000 и более штрихов на 1 мм длины. Свет отражают или пропускают только промежутки между штрихами. При проверке, совмещая пластмассовую копию заштрихованной пластинки с эталонной решеткой, можно сразу увидеть любую периодически повторяющуюся погрешность делительного устройства или любое искажение, получившееся при изготовлении копии. Например, на рис. III (см. цветную вклейку) одно из семейств полосок незначительно отличается величиной промежутка между ними от другого и в результате через некоторые интервалы там, где линии одной пластинки пришлось между линиями другой, мы наблюдаем сгущение линий. Оказывается, что если в одной серии прямых расстояние между ними равно одному миллиметру, а в другой на один микрон (0,001 мм) меньше, то расстояние между сгущениями будет равно одному метру. Таким образом, муаровый узор позволяет получить увеличение в миллион раз и видеть ничтожные отклонения.

Поворот одной пластинки относительно другой на небольшой угол обнаруживается в результате появления темных полосок, перпендикулярных штрихам повернутой пластинки (рис. IV); причем по ширине этих полосок можно с большой точностью определить угол поворота, а по числу полосок длину штрихов.

Если между двумя пластинками со штрихами, из которых верхняя прозрачна и повернута относительно нижней на некоторый угол, поместить оптическую линзу и посмотреть на нее сверху, то видимый через линзу муаровый узор окажется увеличенным и повернутым против часовой стрелки при выпуклой линзе, уменьшенный и повернутый по часовой стрелке при вогнутой (отрицательной) линзе. Поворот узора пропорционален фокусному расстоянию линзы. Кроме того, искривление линий узора будет говорить о дефектах поверхностей линзы. Следовательно, муаровые узоры можно применить для контроля качества линз на оптических заводах без сложных измерительных приборов.

С помощью изменяющихся муаровых узоров можно проследить за изменениями показателя преломления жидкости в процессе диффузии, в процессе тонкого разделения жидкостей на составные части и т. д. Когда пересекаются две фигуры из концентрических колец, представляющих собой

кольца Френеля, то появляется муаровый узор в виде прямых линий (рис. V, VI). Кольца Френеля строятся следующим образом: концентрические окружности чертят на таком расстоянии друг от друга, чтобы площади получающихся колец были одинаковы. Затем кольца через одно закрашиваются.

Путем пересечения двух семейств концентрических кругов в различных вариантах можно получить все кривые конических сечений, кривые, подобные силовым линиям электростатического поля или силового поля около полюсов магнита, и т. д. Муаровые узоры могут представлять собой графические решения исключительно сложных математических задач.

Если на некоторую поверхность до ее деформации нанести линейную сетку, то наблюдение через другую сетку позволит отметить незначительные искажения видимого при деформации. Пример с муаровыми узорами дает основание думать, что существуют такие явления природы, которые мы наблюдаем, но не умеем их использовать, так как ограничиваемся созерцанием и не проникаем еще своим сознанием в глубь этих явлений.

9. Портретные иллюзии

Многим приходилось видеть так называемые загадочные, как бы живые, портреты, которые всегда смотрят прямо на нас, следя за нашими передвижениями и обращая глаза туда, куда мы переходим. Эта интересная особенность таких портретов известна очень давно и многим всегда казалась непонятной. В давние времена такие портреты вызывали суеверный страх, и этим иногда пользовались служители культа, пугая людей изображениями богов и чудотворцев — иконами, умышленно написанными так, чтобы вселять «страх Божий».

Нервных людей такие портреты иногда буквально пугают. В повести Н. В. Гоголя «Портрет» приводится описание портрета одного злого и жадного петербургского ростовщика, погубившего своими действиями многих людей. Там приводится такое описание портрета:

«Два страшные глаза прямо вперились в него; на устах написано было грозное повеление молчать... Глаза вперились в него и, казалось, не хотели ни на что другое глядеть, как только на него... Портрет глядит мимо всего

того, что есть вокруг, прямо в него,— глядит просто к нему во внутрь...».

Вариантом повести Н. В. Гоголя является повесть «Портрет» советского писателя А. Н. Толстого, где также описываются «чудесные свойства» глаз графа-крепостника, изображенных его крепостным художником.

Прогуливаясь по залам Третьяковской галереи, вы можете увидеть несколько портретов великих русских художников; это портреты, которые обладают свойством «оборачивать взгляд к зрителю», что, конечно, ничего, кроме эстетического наслаждения, у вас не вызовет.



Рис. 118.

К такого рода портретам относятся, например, портрет драматурга А. Н. Островского работы художника В. Г. Перова, его же автопортрет, портрет Л. Н. Толстого работы художника И. Н. Крамского и некоторые другие портреты.

Следовательно, загадочность таких живых портретов уже разгадана, а суеверные легенды, созданные по это-

му поводу, являются всего лишь досужим вымыслом.

Чем же объясняется такое свойство этих портретов? Во-первых, оно объясняется тем, что зрачки глаз на портрете помещены в середине разреза глаз. Именно такими мы видим глаза, смотрящие на нас, когда же глаза смотрят в сторону, мимо нас, то зрачок и вся радужная оболочка кажутся нам находящимися не на середине глаза, но смещенными вбок. Когда мы отходим в сторону от портрета, зрачки, конечно, своего положения не меняют — остаются посредине глаз, а так как все лицо мы продолжаем видеть в прежнем положении по отношению к нам, то нам и кажется, что портрёт повернул голову и следит за нами.

В настоящее время иногда пользуются такими плакатами для агитационных и рекламных целей. Образец агитационного плаката времен гражданской войны, выпол-

ненного советским художником Д. Е. Моором, приведен на рис. 118.

Во-вторых, причиной появления иллюзии живого портрета, чаще всего в случае портретов — художественных произведений, оказывается особое расположение теней на верхней части лица и около глаз, которое скрадывает иногда и легкий поворот головы, и некоторое смещение зрачков к краям глаз, и взгляд кажется обращенным не в сторону, а непосредственно на нас.

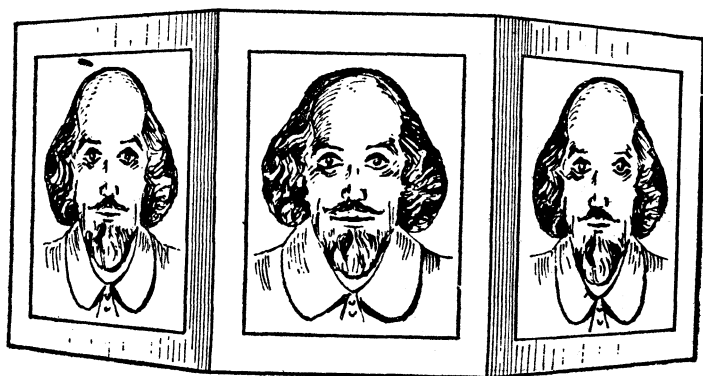


Рис. 119.

На одной из лондонских выставок демонстрировался портрет В. Шекспира, на котором великий писатель был изображен так, что он не только не спускал глаз с посетителей, но и поворачивал вслед за ними голову(?) Оказывается, это была «скульптурама» Л. Погуэлла (рис. 119), на которой барельеф был сделан не выпуклым, а вогнутым.

Следует заметить, что и глаза животных (лошадей, собак, оленей) можно изобразить так, что они будут всюду следить за нами. Этот эффект использовался когда-то при демонстрации первых «живых картин» в кино.

Есть еще особенности портретов, подмеченные впервые английским физиком У. Волластоном. Во-первых, о выражении лица мы судим не столько по самим глазам, сколько по линиям рта. Так, например, вопросительный взгляд, принадлежащий лицу на рис. 120 слева, превращается в насмешливый на лице, изображенном на рис. 120 справа, хотя положение глаз в обоих случаях остается неизменным.



Рис. 120. О выражении лица мы судим не столько по глазам, сколько по линии рта.

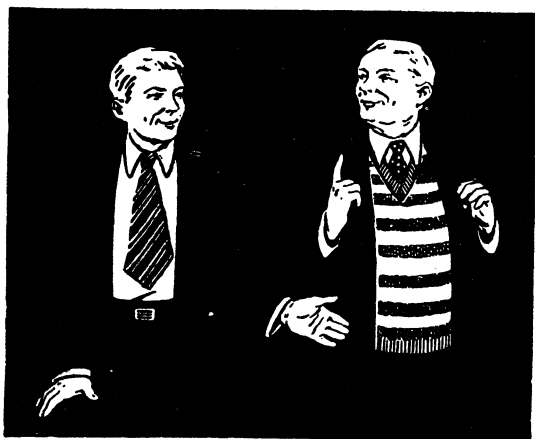


Рис. 121. О положении корпуса тела человека можно судить по положению головы и кистей рук.

Во-вторых, о направлении взгляда во многих случаях мы судим не столько по самим глазам, сколько по повороту лица, по положению носа, рта и т. д. Этими свойствами портрета пользуются многие художники.

Наконец, на черном фоне рис. 121 изображены два артиста, у которых художник не нарисовал ни рук, ни ног, ни туловища. Подсознательно вы как бы видите ноги и представляете себе положение рук, в особенности, если смотрите на рисунок на расстоянии 80 см. Очень часто художнику, для того чтобы вызвать в нашем сознании определенный образ, достаточно воссоздать какой-либо один из признаков этого образа: или очертание предмета, или же световое впечатление, которое он на него производит. Прочие признаки могут автоматически добавляться нашей рассудочной деятельностью вследствие привычки всегда видеть их в связи с другими. Бывает и так, что мы видим на полотне предметы, не изображенные на нем. При рассматривании некоторых картин легко убедиться, что мы различаем отдельные волоски на бороде или листья на деревьях там, где эти предметы отсутствуют. Художник же не писал ни волос, ни листьев, но воспроизвел известное действие света, отраженного от шероховатой поверхности полотна, а так как подобное освещение мы наблюдали на волосах или листьях, то наше сознание дает нам впечатление того, чего глаза вовсе не видят. Вот почему картина, верная во всем, что касается очертаний, перспективы, освещения и красок, вызывает у нас совершенно такое же зрительное впечатление, как и сами предметы, изображенные на картине.

Интересна игра, предложенная художницей Т. Я. Кобриной. Дается контур головы (рис. 122) и предлагается на его основе изобразить несколько карикатур или шаржей, причем допускаются любые повороты контура так, что линия OO' может образовать любой угол с горизонталью. И вот, скажем, два художника, соревнуясь между собой, дали по три карикатуры, изображенные на рис. 123. Нетрудно убедиться, что можно дать еще несколько подобных рисунков в пределах того же контура, и это свидетельствует о том, насколько дружелюбны наше зрение и мышление.

Следующей разновидностью зрительной иллюзии, связанной с портретами, является иллюзия вторичного изображения. Она заключается в следующем. Если на темный

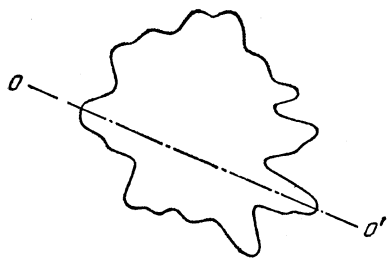


Рис. 122.

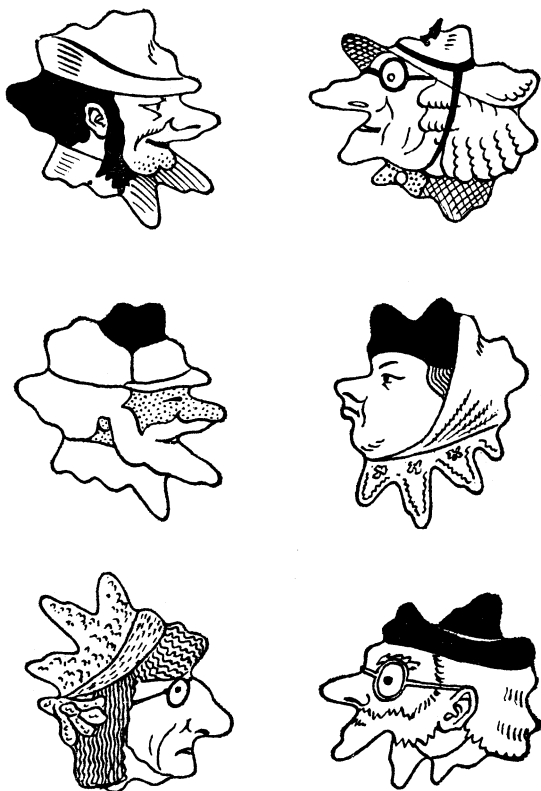


Рис. 123.



Рис. 124. Рассматривая длительное время, не мигая, негативный рисунок и переводя затем взгляд на белый фон, мы можем увидеть позитивное изображение.



Рис. 125. Рассматривая темный силуэт мальчика длительное время, не мигая, и переводя затем взгляд на белый фон, мы можем увидеть светлое изображение силуэта на сером фоне.

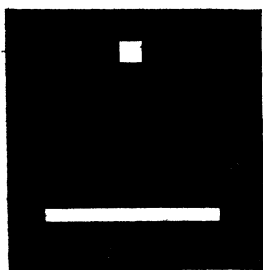


Рис. 126. При длительном рассматривании белого квадрата нижняя белая полоска исчезнет.

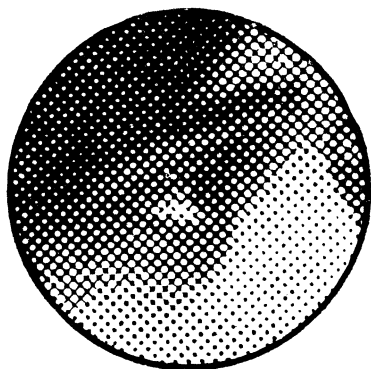


Рис. 127. То, что изображено на этом рисунке, можно лучше увидеть с расстояния вытянутой руки.

(плотный) негатив смотреть внимательно, и по возможности не смещая взгляда с двух белых точек на нижней части лица в продолжение 10—15 сек, а затем быстро перевести взгляд на лист белой бумаги и также неподвижно смотреть на него, то примерно через 2—3 сек на листе появится позитивное изображение негатива. Это вторичное изображение будет видно примерно 6—8 сек (рис. 124, 125).

Иллюзия вторичного изображения объясняется тем, что при рассматривании негатива более утомляются нервные волокна (колбочки) той части сетчатой оболочки глаза, на которые приходятся светлые (белые) места негатива; а те места сетчатки, на которые падает мало отраженного света (от темных мест негатива), утомляются меньше. Когда затем мы переводим взгляд на белую бумагу, на все участки сетчатки падает много света. Неуставшие нервные волокна сетчатки легко реагируют на этот свет, создавая в мозгу впечатление белого. Участки сетчатки с утомленными нервными волокнами еще не могут реагировать на свет в полную силу, и в нашем мозгу создается впечатление позитивного портрета.

Утомляемость нервных волокон сетчатки можно наблюдать также, рассматривая рис. 126. Подобное же явление можно наблюдать, рассматривая ряд черных пятен на белой бумаге и фиксируя взгляд на одном из них; через короткий промежуток времени другие пятна начнут исчезать, но затем появляться вновь (опыт Троксера). Наконец, на рис. 127 представлена еще одна иллюзия, близкая по существу к приведенным в этом параграфе.

10. Иллюзии при движении объекта

Великий русский физиолог И. М. Сеченов по вопросу о зрительном восприятии движений стоял на материалистической точке зрения. Он писал: «...в отношении движений, за которыми глаз в силах уследить, представляемое и действительное совпадают друг с другом». Оказывается, что при движении объекта наблюдения встречается также ряд зрительных иллюзий, которые обусловлены некоторыми свойствами нашего зрительного аппарата.

Еще Клавдий Птолемей (II в. н. э.) в своей «Оптике» говорит, что если круг с окрашенным сектором привести во вращение, то весь круг нам кажется окрашенным.

Очевидно, еще древним было известно, что движущийся с некоторой скоростью по кругу огонь превращается для нас в сплошное огненное кольцо.

Наш глаз обладает свойством удерживать в течение долей секунды зрительное впечатление, хотя видимый предмет уже исчез из поля зрения.

Зрительное ощущение света требует некоторого времени для возникновения. Если перед глазом, адаптированным на темноту, внезапно появится ярко освещенная поверхность, то зрительное ощущение от нее возникает примерно

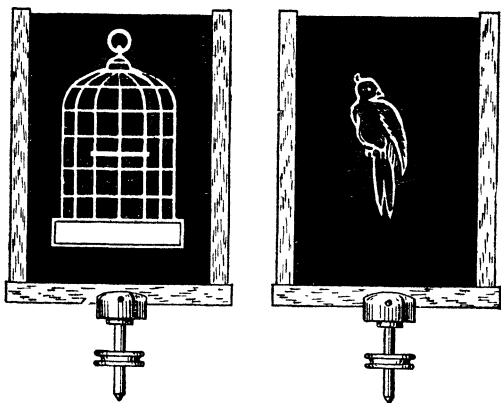


Рис. 128. Эту птичку можно увидеть сидящей в клетке.

через 0,1 сек. При меньшей разности яркостей поля адаптации и возникающей светлой поверхности это время увеличивается до 0,2—0,3 сек, 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 инерционность нервной системы, в которой сигнал от органов зрения и ответный сигнал двигательным органом распространяется хотя и с большой, но не с бесконечной скоростью. С момента подачи сигнала средней силы до момента ответного движения человека проходит в среднем 0,19 сек. У отдельных лиц это время колеблется в пределах от 0,15 до 0,225 сек. Когда

человек воспринимает сигнал одним глазом, он реагирует на этот сигнал медленнее: «отставание» равно примерно 0,015 сек.

Только в первой половине XIX в. начали пользоваться этой особенностью зрительного восприятия движущихся объектов. Так, в 1825 г. во Франции был построен прибор, так называемый тавматроп *), представляющий собой кусок картона, на одной стороне которого нарисована, например, клетка, а на другой — птичка (рис. 128).

При быстром вращении и одновременном наблюдении обеих сторон картона птичка будет казаться сидящей в клетке. Можно кусок картона с рисунками на обеих сторонах укрепить на оси волчка. Тот же опыт можно проделать с карточкой, у которой на одной стороне нарисована скачущая лошадь, а на другой жокей (рис. 129). Возможен ряд самых разнообразных вариантов этой игрушки: охотник без дичи и с дичью, две отдельные части одного и того же слова, балерина отдельно от партнера и т. д.

Между прочим, иллюзия пребывания птички в клетке может быть получена и другим способом. Следует взять половину почтовой открытки и поместить ее вертикально между птичкой и клеткой так, чтобы тень от открытки не падала на рис. 128,

затем прислонить открытку вместе с рисунком к носу и смотреть одним глазом на клетку, а другим на птичку. При этом окажется, что птичка сдвинулась и вошла в клетку. Эта иллюзия объясняется слиянием изображений предмета

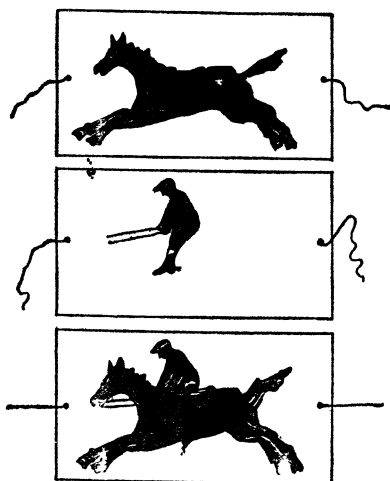


Рис. 129. Если картонную карточку с изображением скачущей лошади на одной ее стороне и жокея на другой стороне начать быстро вращать на раскручивающейся ниточке, то мы увидим жокея на лошади (как показано здесь внизу).

*) Греческие: «тавма» — фокус, «троп» — колесо.

в правом и левом глазу в нашем сознании в единый зрительный образ (стереоэффект).

В 1829 г. бельгийский физик Ж. Плато построил прибор, названный им «фенакистископом»*), состоящий (рис. 130) из картонного круга, разделенного на несколько

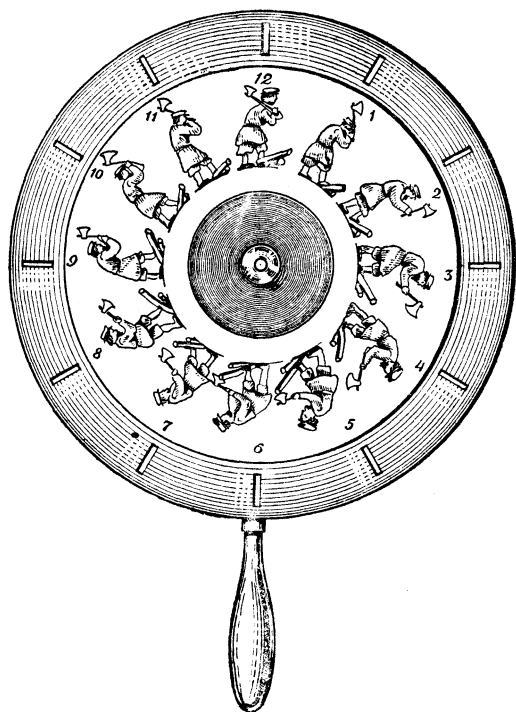


Рис. 130.

секторов с таким же числом окошечек; в секторах размещены изображения дровокола в последовательных положениях при раскалывании полена топором. Если встать перед зеркалом и смотреть при быстром вращении круга в окошечко, то получится впечатление работы дровокола.

Известна также спираль Плато, на которой можно наблюдать последовательный образ движения. Если диск со спиралью (рис. 131) вращать по часовой стрелке, то после

*) Фенакистископ — обманчивое видение.

продолжительного фиксирования ее глазом у нас возникает впечатление стягивания всех ветвей спирали к центру; при вращении спирали в обратном направлении мы видим расхождение спиралей 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 вагона или парохода, то нам покажется, что они



Рис. 131.

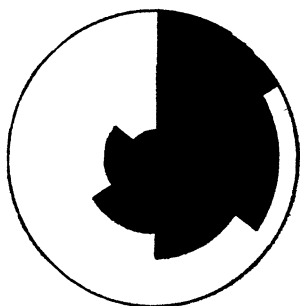


Рис. 132.

тоже движутся, но в обратном направлении. Эти иллюзии связаны с последовательными движущимися образами.

Всем хорошо знакома иллюзия зрения, когда из окна стоящего поезда вы видите, как трогается в путь соседний поезд. Вам кажется, будто ваш поезд медленно отправляется со станции. Вы уже привыкли связывать в сознании движущиеся образы со своим движением.

Вы смотрите в окно из вагона курьерского поезда, идущего со скоростью 60 км/ч. На откосах насыпи растут красные цветы, и вы хотите узнать их, что это: розы, маки или георгины? Однако цветы мелькают и узнать их не удастся, хотя поезд продвигается всего лишь на 16 м/сек. Известно, что ласточка летает со скоростью около 90 м/сек и на лету хватает крошечных насекомых, пролетает как

стрела через отверстия чуть больше ее самой. Следовательно, она видит все предметы вокруг себя, и зрительные впечатления у нее не сливаются. Человек не может уследить за подробностями более или менее быстрых движений. Поэтому нам кажутся иногда странными моментальные снимки идущего человека и т. п. Правильным будет утверждение, что реальность вещей, как они воспринимаются нашим зрением, вернее передает изобразительное искусство, чем моментальная фотография.

Вслед за «игрушками», подобными изображенным на рис. 128—130, последовал ряд изобретений, позволяющих видеть движущиеся фигуры при вращении дисков. Все эти устройства являлись предшественниками современного кинематографа, и по существу действие их всех основано на способности глаза сохранять в течение некоторого времени произведенное на него световое воздействие. Глаз в течение приблизительно 0,1 сек еще «видит» то, что уже исчезло. Так, в современном кино 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.

Одновременный контраст яркости ахроматических поверхностей можно удобно наблюдать, кроме способа, представленного на рис. 108 также с помощью диска рис. 132.

Если этот диск быстро вращать вокруг оси, то получается шесть колец различной яркости, которая постепенно изменяется от белого крайнего до черного в центре диска.

Объективно эти кольца по всей их радиальной ширине будут иметь одинаковую яркость; субъективно же там, где какое-либо кольцо соприкасается с более светлым, оно кажется заметно более темным; там, где оно соприкасается с ближайшим более темным, оно представляется более светлым.

Гельмгольц объясняет это обманом нашего суждения, он говорит: «Человек среднего роста рядом с очень высоким кажется маленьким, потому что в этот момент мы ясно видим, что существуют более высокие люди, но не видим, что существуют также и более низкие. Тот же самый человек среднего роста, поставленный рядом с низким, будет

казаться высоким». Ясно, что опыт растушевки темного пятна по всей поверхности диска при его вращении связан с явлением сохранения зрительного впечатления. Такой же опыт предпринимается с цветным диском для наблюдения явления смешения цветов.

На принципе сохранения зрительного впечатления в течение десятых долей секунды основаны применяемые сейчас в технике стробоскопические*) методы измерения длительности периодов быстро протекающих процессов.

Так, например, наблюдатель, вооруженный быстродействующим затвором, рассматривает сквозь него вращающийся диск, причем срабатывание затвора происходит как раз в такой момент времени, когда диск занимает строго определенное положение. При частоте срабатывания затвора более 10 раз в секунду некоторый сектор диска или радиус, прочерченный на нем, будут казаться наблюдателю неподвижными.

Иной способ получения стробоскопического эффекта заключается в том, что исследуемую вращающуюся деталь освещают кратковременными световыми вспышками. Если частота повторения вспышек совпадает с числом оборотов детали в секунду, а интервал между вспышками меньше 0,1 сек. то в этом случае вращающаяся деталь покажется наблюдателю неподвижной.

Телевидение также использует закон сохранения 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. На самом деле он в точности повторяет движения другого электронного луча, движущегося таким же образом по изображению, полученному в передатчике телестудии. Вследствие большой скорости перемещения электронного луча от верхней части экрана строчками до нижней его границы, мы не замечаем этого движения, но воспринимаем все изображение в целом. Электронно-лучевой метод разложения изображения, передаваемого на дальнее расстояние, был впервые предложен в 1907 г. русским ученым Б. Л. Розингом.

*) От греческого «стробос» — вихрь, кружение.

Весьма интересная иллюзия, связанная с появлением цветной окраски на черно-белом вращающемся диске (рис. 133), наблюдалась еще в прошлом веке Бенхэмом и используется теперь в психофизиологических опытах. Вращая диск со скоростью 6—10 об/сек по часовой стрелке при достаточно ярком свете, мы заметим на диске цветные кольца. Более отдаленное от центра кольцо приобретает сине-фиолетовый оттенок, затем следует зеленоватое, желтоватое и красноватое кольца. При вращении диска против часовой стрелки порядок следования цветных колец

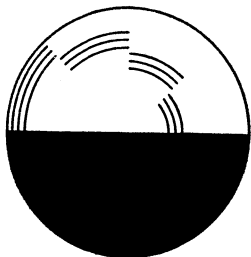


Рис. 133. Диск. Бенхэма.

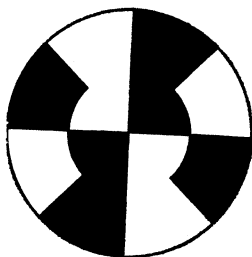


Рис. 134.

меняется на обратный. На периферическом кольце другого диска, изображенного на рис. 134, появляется красноватый налет, а на внутренней синеватый, конечно, если этот диск привести во вращение. При увеличении скорости вращения синеватый налет исчезает, и весь диск будет казаться красноватым.

Появление цветной окраски при изменении скорости чередования черных и белых полос привлекает сейчас внимание исследователей, работающих над проблемами цветного телевидения. Однако существующие объяснения этой иллюзии нельзя считать полными и исчерпывающими.

Многие иллюзорные движения объясняются как явлением сохранения зрительного впечатления, так и некоторыми еще недостаточно выясненными физиологическими явлениями, имеющими место в процессе зрительного восприятия (рис. 135—138).

Известен ряд явлений иллюзорного движения при наблюдении за движущимися объектами через щель или небольшое отверстие в экране. Так, например, если перед

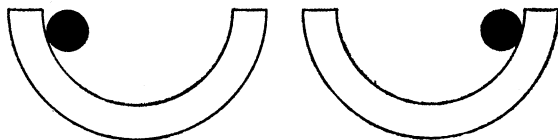


Рис. 135. Фиксируя взгляд на одном правом или на одном левом черном кружке и покачивая рисунок, мы увидим, что черный кружок катится по желобу.

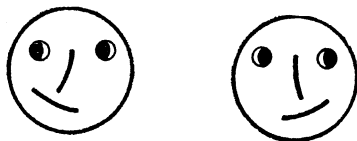


Рис. 136. При покачивании этой фигуры вправо и влево можно наблюдать перемещение глаз на изображенных здесь рожицах.

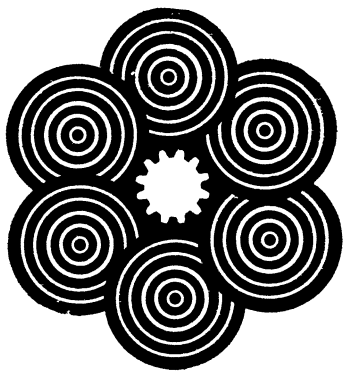


Рис. 137. При вращении рисунка все кольца кажутся вращающимися. Иллюзия основана на принципе стробоскопического эффекта.

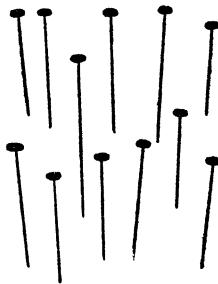


Рис. 138. Если поместить глаз в точку, где сходятся продолжения изображенных здесь булавок, и слегка покачивать рисунок, то булавки кажутся воткнутыми в лист вертикально и качающимися.

целью в экране со стороны, противоположной от наблюдателя, перемещать круглый диск, то он кажется нам эллипсом, при быстром движении диска покажется, что большая ось эллипса лежит вертикально, а при медленном движении она кажется горизонтальной.

Примеры иллюзорных движений весьма часто встречаются нам в обычных условиях; приведем здесь еще некоторые из них.

Так, из окна быстро движущегося поезда мы видим, что движутся все предметы окружающего поезда ландшафта. Наблюдая луну в облачную ночь, мы видим, что она быстро перемещается относительно неподвижных облаков. «Над полями, да над чистыми месяц птицею летит...», — поется в русской народной песне. Совершенно справедливо китайское изречение: «Посмотри сквозь перила моста, и ты увидишь, как мост плывет по неподвижной воде». Спицы быстро движущегося велосипеда кажутся нам слившимися; колеблющаяся струна нам представляется расплывшейся между неподвижными узлами, и т. д.

Нашему зрительному аппарату свойственно явление, называемое автокинетической реакцией, которое может проявляться таким образом. Если длительное время глядеть на неподвижную светящуюся точку, то неизбежно начинает казаться, что она движется. Это связано с тем, что глаз не может удерживать изображение на одном и том же месте сетчатки. Чтобы избежать ошибки, нужно время от времени отводить глаза.

В лаборатории экспериментальной психологии военно-воздушных сил Швеции изучали обманы зрения у военных летчиков. Оказалось, что 27 из 90 испытуемых истребителей, охотясь ночью за летающей мишенью, теряли ее хвостовой огонь, принимая за него звезду. Нередко охота за звездой и попытка подняться выше нее продолжалась до десяти минут. Истребители при преследовании боялись потерять едва заметную светлую точку, смотрели на нее, не отводя глаз, и, конечно, теряли. Шведские ученые продолжают изучать иллюзии зрения у летчиков.

В некоторых старых учебниках физики способность глаза сохранять некоторое время зрительный образ рассматривалась как один из недостатков нашего органа зрения. Однако, имея в виду этот «недостаток», человек создал такие сильные и общедоступные формы искусства, какими являются кино и телевидение.

11. Иллюзии цветового зрения

Важнейшим свойством нашего глаза является его способность различать цвета. Как было указано ранее, такой способностью обладают только цветочувствительные элементы сетчатки — колбочки. Одним из первых замечательных открытий, относящихся к цветному зрению, можно считать явление смещения максимума относительной видности при переходе от дневного зрения к сумеречному, открытое знаменитым чешским биологом Я. Пуркине. Явление Пуркине заключается в том, что при сумеречном зрении (при низких освещенностях) не только понижается чувствительность глаза к восприятию цветов вообще, но и что в этих условиях глаз обладает пониженной чувствительностью к цветам длинноволнового участка видимого спектра (красные, оранжевые), но зато обладает повышенной чувствительностью к цветам коротковолновой части спектра (синие, фиолетовые). Красный мак и василек на рис. I (здесь и далее см. цветную вклейку) при дневном освещении кажутся по яркости близкими друг к другу. В сумерках мак кажется совершенно темным, а василек более светлым. В картинной галерее в сумерки постепенно начинают исчезать краски, сначала красные, затем желтые и зеленые.

Можно указать ряд случаев, когда мы при рассмотрении цветных объектов также встречаемся с ошибками зрения или иллюзиями.

Во-первых, иногда о насыщенности цвета объекта мы ошибочно судим по яркости фона или по цвету других окружающих его предметов. В этом случае действуют также закономерности контраста яркостей: цвет светлеет на темном фоне и темнеет на светлом.

Великий художник и ученый Леонардо да Винчи писал: «Из цветов равной белизны тот кажется более светлым, который будет находиться на более темном фоне, а черное будет казаться более мрачным на фоне большой белизны. И красное покажется более огненным на более темном фоне, а также все цвета, окруженные своими прямыми противоположностями».

Во-вторых, существует понятие собственно цветовых или хроматических контрастов, когда цвет наблюдаемого нами объекта изменяется в зависимости от того, на каком фоне мы его наблюдаем. Иллюзии цветового зрения этого

рода нам встречаются в следующих видах. Черный круг, изображенный на рис. VII, кажется слегка красноватым на зеленом фоне, когда же мы прикроем этот круг тонкой прозрачной бумагой *), то иллюзорный красный цвет становится еще более заметным. Очевидно, прозрачная бумага создает иллюзию цветного освещения и тем усиливает проявление эффекта. Аналогично черный круг на красном будет казаться зеленоватым, на фиолетово-голубом фоне — зеленовато-желтым и на голубом — медно-красным. То же явление произвольного окрашивания серых полосок можно наблюдать через прозрачную бумагу на рис. VIII.

Оказывается, что тот цвет, в который окрашивается черный круг или серая полоса, является так называемым дополнительным цветом к цвету фона. Для каждого цвета имеется такой другой цвет, оптическое смешение с которым дает цвет ахроматический (белый или серый). Такие цвета и называются взаимно дополнительными. Круг или полоска не обязательно должны быть черными или серыми, например желтая полоска на красном фоне кажется зеленоватой, а на зеленом — оранжевой; в данном случае эти три цвета при смешении дадут белый или серый цвет.

Подмечено, что это иллюзорное окрашивание черных и серых предметов происходит в цвет, лишь приблизительно являющийся дополнительным, но не совпадающий с ним в точности.

Наиболее наглядное представление об оптическом смешении цветов можно получить следующим образом. Если диск (рис. IX) с секторами, имеющими такие углы и окраску, как это показано на рисунке, привести в быстрое вращение, то вследствие быстрого чередования различных возбуждений цвета секторов сольются в общий серый тон. Эта иллюзия цветового зрения объясняется *инерцией зрения* **) и тем, что сумма соответствующим образом подобранных излучений разного спектрального состава вызывает ощущение белого света.

На основании того, что наш орган зрения наиболее приспособлен к восприятию белого солнечного света, можно объяснить и такую иллюзию. Если в течение нескольких секунд неподвижно смотреть на красное пятно, а потом

*) Читателю следует вырезать четырехугольный листок папирусной бумаги и наложить его на рис. VII и VIII.

**) Инерция зрения — способность глаза сохранять зрительное впечатление.

перевести взгляд на белую бумагу, то мы увидим на бумаге зеленое пятно. Если рассматривать желтый кружок, то на бумаге увидим синий, и наоборот.

С цветовым контрастом связаны и другие иллюзии цветового зрения. Приведем еще несколько примеров.

На рис. X площади внутреннего квадрата слева и полосы справа равны, но периметр полосы в два раза больше периметра квадрата. Всматриваясь в этот рисунок, мы видим полосу более яркой, чем внутренний квадрат.

Явлением психологического контраста можно объяснить иллюзию так называемого подравывания цветов, заключающуюся в следующем. Если смотреть на рис. XI, то на нем можно увидеть фигуру в виде зеленого креста, тогда и средний кружок кажется зеленоватым; если же сосредоточить внимание на желтых кружках, то и центральный кружок будет казаться желтоватым.

Интересна также иллюзия последовательного цветового контраста, появляющаяся после рассматривания верхней части рис. XII. Если несколько минут внимательно вглядываться в черный круг верхней части рисунка, а затем быстро перевести взгляд на черный круг внизу, то через несколько секунд на белом фоне появятся цветные изображения всех четырех пятен, окружающих верхний черный круг. Какого цвета будут эти появившиеся пятна?

Заметим здесь, что при переходе от одного цвета данной поверхности к другому цвету этой же поверхности у нас будет изменяться и ее кажущаяся яркость. Следовательно, будет изменяться и контраст яркости, если мы будем, скажем, одновременно изменять яркость предмета и фона или один и тот же предмет будем рассматривать на менее ярком, а затем на более ярком фоне. Вот почему контраст яркости связан для нашего зрения с цветовым контрастом. Чем больше цвет объекта отличается от цвета фона, тем лучше заметен объект и тем отчетливее виден его контур и форма.

Можно привести множество примеров воздействия на глаз цветовых контрастов. Гёте, например, пишет: «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 зеленым цветом травы, и дает «бесконечно прекрасный зеленый цвет».

Гёте описывает также явление так называемых цветных теней. «Один из самых красивых случаев цветных теней можно наблюдать в полнолуние. Свет свечи и лунное сияние можно вполне уравнивать по интенсивности. Обе тени могут быть сделаны одинаковой силы и ясности, так что оба цвета будут вполне уравниваться. Ставят экран так, чтобы свет полной луны падал прямо на него, свечу же помещают несколько сбоку на надлежащем расстоянии; перед экраном держат какое-нибудь прозрачное тело. Тогда возникает двойная тень, причем та, которую отбрасывает луна и которую в то же время освещает свеча, кажется резко выраженного красновато-темного цвета, и, наоборот, та, которую отбрасывает свеча, но освещает луна, — прекраснейшего голубого цвета. Там, где обе тени встречаются и соединяются в одну, получается тень черного цвета».

Тот факт, что некоторые цвета воспринимаются нами как «выступающие», а другие как «отступающие», иллюстрируется здесь рис. XIII.

Рассматривая верхнюю фигуру на этом рисунке, мы склонны думать, что это усеченная пирамида, обращенная вершиной к нам.

Рассматривая нижнюю фигуру, мы готовы представить себе туннель с выходным отверстием вдали. «Выступающими» цветами обычно кажутся цвета красно-оранжево-желтые (или «теплые»), а «отступающими» кажутся цвета зелено-синие (или «холодные»). Насыщенные и светлые цвета нам обычно кажутся ближе темных и ненасыщенных. Хроматические цвета обычно «выступают вперед» на фоне цветов серых.

Следует заметить, что многие свойства глаза, вызывающие появление иллюзий цветового зрения, вместе с тем оказываются и весьма полезными для получения нами зрительных ощущений, более полно отражающих объективную реальность.

Вот почему, например, на вывесках и рекламах, собранных из светящихся газосветных трубок, слова, написанные трубками красного свечения, приближаются к наблюдателю и кажутся висящими в воздухе, а слова, написанные трубками зеленого или синего свечения, отступают. Однако оказывается, для некоторых людей иллюзия различной удаленности разных цветов носит обратный характер, т. е. более близкими кажутся цвета синие (у некоторых

лиц иллюзия вообще не наблюдается). Среди различных объяснений этой иллюзии заслуживает внимание следующее. Зрительная линия пересекает плоскость зрачка не в центре его, а несколько сбоку, т. е. хрусталик не строго центрирован по отношению к зрительной линии. Поэтому когда глаз фиксирует какую-нибудь синюю точку, то изображение соседней с ней красной точки даст на сетчатке известный круг светорассеяния, причем этот круг будет не концентричен с изображением фиксируемой точки, но несколько смещен в сторону височной или носовой части сетчатки. Это смещение при бинокулярном зрении создает такое же впечатление, какое мы получим от одинаково удаленных от осей глаз раздраженных мест сетчаток, если красная точка фактически будет ближе или дальше, чем синяя.

Однако иллюзии цветового зрения значительно менее полно исследованы физиологами, и многие еще не могут быть объяснены достаточно удовлетворительно, а некоторые гипотезы, высказанные по поводу них, не оправдываются.

ИЛЛЮЗИИ ЗРЕНИЯ, СОЗДАВАЕМЫЕ
ИСКУССТВЕННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

12. Иллюзии, создаваемые с помощью плоских стекол
и зеркал

Плоское стекло. Обычное, плоское, прозрачное стекло обладает способностью пропускать и частично отражать падающий на него световой поток. Если перед таким стеклом поместить хорошо освещенный предмет, то этот последний, во-первых, будет виден через стекло с противоположной стороны, во-вторых, образуется изображение предмета, видимое под определенным углом к плоскости стекла. Изображение предмета будет тем более четким, чем ярче предмет, чем больше яркостный контраст между предметом и фоном и чем ближе к 90° угол, образуемый линией зрения с нормалью к стеклу. Характер пропускания и отражения светового потока плоским стеклом иллюстрируется рис. 139, где ρ_1 — коэффициент отражения от поверхности

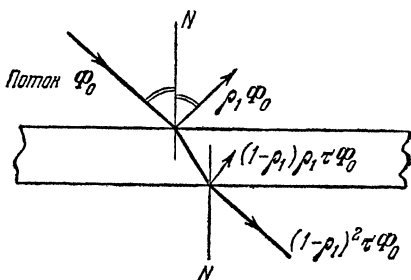


Рис. 139. Отражение и пропускание света плоско-параллельным стеклом.

раздела воздух — стекло или стекло — воздух (френелевское отражение). Этот коэффициент для обычных стекол изменяется от 4 до 7% в зависимости от угла зрения; τ — коэффициент прозрачности плоского стекла, для

качественных зеркальных стекол равный 90—96% (при толщине стекла 3—5 мм); Φ_0 — световой поток.

Свойствами плоского прозрачного стекла пользуются для создания многих оптических иллюзий и разнообразных световых эффектов в театрах и на эстраде.

Во-первых, плоское стекло используется в театрах для получения появляющихся на сцене и исчезающих привидений, призраков и внезапных вспышек света. Например, на рис. 140 воспроизводится сцена, на которой под некоторым углом установлено большое плоское стекло, и зрители видят, как артист «прокалывает» шпагой появившееся «привидение» в белой одежде. На самом деле, артист, исполняющий роль привидения, находится в углублении под сценой и освещается так, чтобы яркость его одежды, уменьшенная за счет потерь в стекле, оставалась все же больше яркости фона (декорации), видимого зрителям через стекло. Когда прекращается освещение — привидение исчезает; но, будучи проколото шпагой, оно не падает, а продолжает двигаться по сцене как ни в чем не бывало.

Благодаря тому что плоское стекло весьма прозрачно, сквозь него можно видеть тех актеров и те предметы, которые находятся сзади него; стекло незаметно для зрителей, а потому они и не знают причины появления привидения. Мы можем смотреть в чистое оконное стекло, не видя самого стекла, но наблюдая за тем, что происходит за стеклом. Если за стеклом достаточно светло, то мы даже не аккомодируем зрение так, чтобы видеть стекло, а все наше внимание привлекают предметы за ним.

На схеме, представленной на рис. 141, несколько другой вариант устройства для получения призраков на сцене. В этом случае отверстие a , ведущее к скрытой части сцены b , закрывается подъемной дверью с целью дать возможность актерам беспрепятственно двигаться на верхних подмостках; d — стеклянная стена, края и подставки которой замаскированы рамой, гирляндой или другими деталями декорации. С помощью канатов и блоков стекло d можно убрать или поставить его под заранее определенным углом. Установка стекла производится во время антракта или во время действия, когда внимание публики привлечено к чему-нибудь другому. Для того чтобы достигнуть желаемой цели, на верхних подмостках во время появления призрака должно быть темно. Актер-призрак играет на нижней сцене b . Здесь находится стенка e , к которой актер

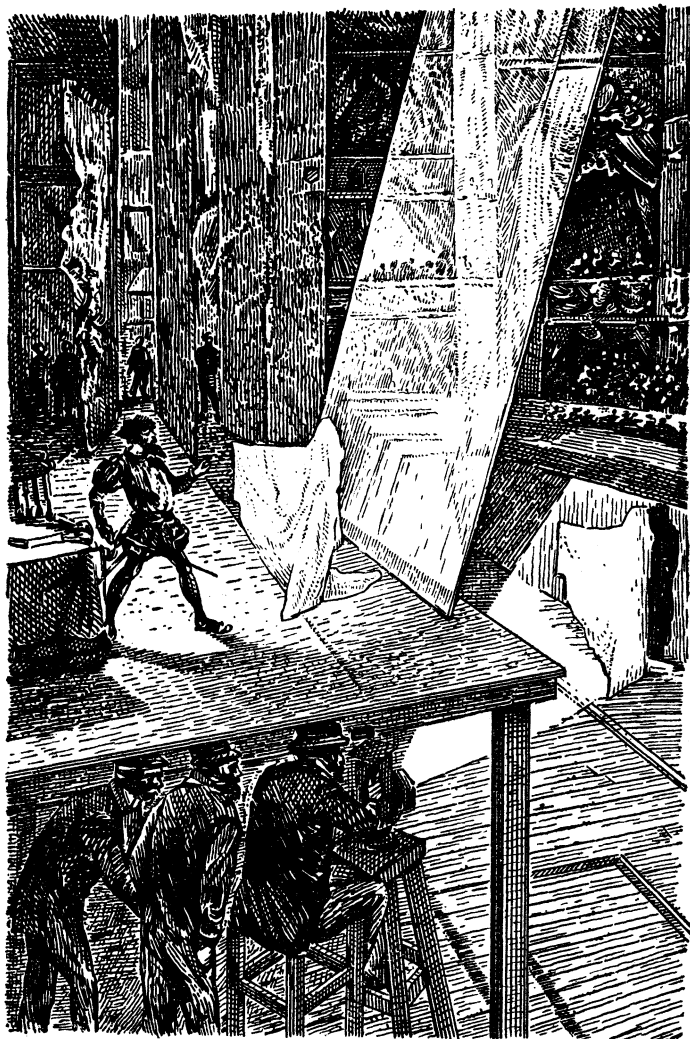


Рис. 140. Появление призрака на сцене театра.

прислоняется. Когда все нижнее помещение обито черным бархатом, то при полном освещении в стеклянной стене d отражается и очень ясно выступает перед зрителями актер-призрак.

Если смотреть из зрительного зала, призрак кажется находящимся сзади невидимого стекла. Играющие совместно с призраком актеры, которые тоже могут находиться

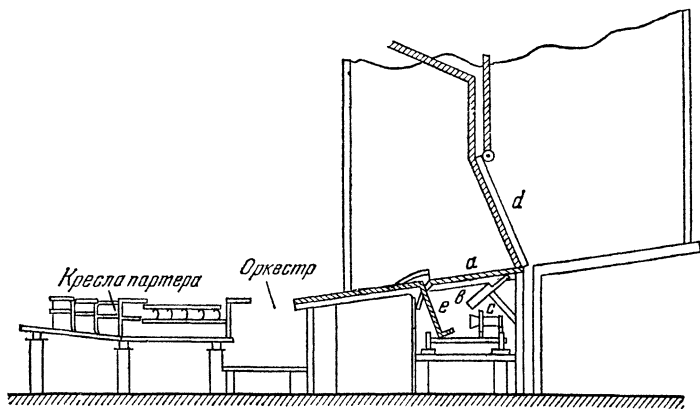


Рис. 141. Схема устройства иллюзиона «театральный призрак».

сзади d , должны точно знать место появления призрака, так как они его видеть не будут. Стенка e установлена наклонно для того, чтобы фигура в изображении представлялась стоящей прямо.

Так как актер-призрак из-за наклонного положения затрудняется делать движения, то стенка e может быть подвижной (на роликах и рельсах или полозьях). Источник света c может двигаться вместе со стенкой e . Движение актера-призрака создает впечатление, будто он пролетает или проплывает вдоль сцены, а такое перемещение, как считается, и свойственно привидениям и призракам.

Этим способом показывают, например, «призрак» Тамары в 1-м акте оперы «Демон», «призрак» Снегурочки в одноименной опере и т. п.

Во-вторых, плоское стекло может быть использовано как «ложное» зеркало следующим образом: сначала на сцене зрители видят изображение ярко освещенной статуи, находящейся сбоку или сзади по отношению к стеклу, а

затем освещается артист, играющий роль ожившей статуи, ранее находившийся за стеклом, не освещенный и невидимый зрителям.

Постепенно уменьшая освещение статуи и увеличивая освещение артиста, можно добиться почти незаметного замещения статуи натурой. Этот способ оживления статуи используется иногда в опере «Дон Жуан». «Ложное» зеркало может быть получено с помощью так называемого полупрозрачного зеркала.

Одну поверхность плоского стекла покрывают тонкой пленкой (толщиной около 0,1 мкм) металла, хорошо отражающего свет (например, серебра), затем на стекло наносится не темная защитная краска, а бесцветный лак. Оказывается, в этом зеркале при определенных условиях можно будет видеть вместе или раздельно и изображение предмета, находящегося перед зеркалом, и другой предмет, находящийся за зеркалом. Для этого следует изменять угол наклона зеркала или яркость показываемых зрителю статуи или актера.

Величина коэффициента отражения полупрозрачного зеркала зависит от толщины посеребренного фильтра (пленки), которая регулируется длительностью процесса серебрения. На обычном зеркале толщина отражающего слоя 0,3—0,5 мкм и коэффициент отражения при этом для длины волны 0,589 мкм для серебра принимается 95,3%.

Полупрозрачное зеркало, например, установлено в вестибюле Харьковского русского драматического театра имени А. С. Пушкина. Театралы подходят поправить прическу или галстук — и вдруг... их изображение исчезает; зеркало светится изнутри и на нем появляются надписи — рекламное сообщение о премьере, об актерах. Через несколько секунд зеркало вновь к услугам зрителей.

Такие же зеркала могут с успехом использоваться в торговой рекламе. За полупрозрачным зеркалом помещают рекламный рисунок, фотографию или надпись. За зеркалом же замаскированно располагают софитные лампы. Когда лампы включаются, зеркало превращается в прозрачное стекло, через которое хорошо видно рекламное изображение. Когда освещение выключено, зритель видит перед собой обыкновенное зеркало.

В том, что возможно совмещение предмета и изображения, легко убедиться на следующем простом опыте. Возьмем плоское прозрачное стекло (рис. 142) и поставим перед

ним зажженную свечу A , затем, наблюдая ее мнимое изображение, поставим другую незажженную свечу A' на место изображения первой. Свеча A' будет казаться также зажженной, но мы можем безбоязненно касаться рукой ее «пламени».

Хорошее совмещение свечи и ее изображения достигается только при вполне определенном положении наблюдателя.

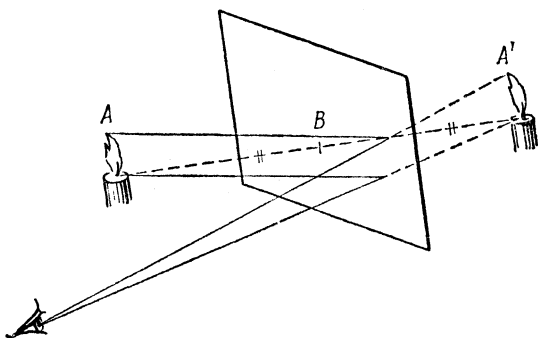


Рис. 142. Совмещение негорящей свечи с изображением горящей.

Свойством плоско-параллельной пластинки стекла поглощать часть светового потока, проходящего через нее, пользуются для получения светофильтров, как нейтральных, так и цветных.

Нейтральные или дымчатые светофильтры уменьшают проходящий световой поток (не изменяя его спектрального состава и цветности) обратно пропорционально коэффициенту прозрачности светофильтра. Иногда применяются нейтральные светофильтры с переменным коэффициентом прозрачности, что достигается или изменяющейся от одного участка к другому толщиной стекла, или же чаще всего переменной оптической плотностью дымчатой пленки, наложенной на стекло (оптический клин). С помощью таких фильтров можно получить переменную яркость видимых через них предметов.

Цветные светофильтры применяются для изменения окраски освещаемых предметов. Они могут изготавливаться из стекла, окрашенного по поверхности жаростойкой краской или лаком, из цветного стекла, цветного целлофана,

органического стекла и других прозрачных цветных пластмасс.

В практике создания сценических световых эффектов плоские прозрачные стекла широко используются для изготовления специальных диапозитивов, трафаретов и других приспособлений к прожекторам и проекционным аппаратам (см. п. 15).

Плоское зеркало. Металлические зеркала появились за несколько столетий до нашей эры. Их изготовляли из меди, бронзы, серебра и других металлов.

Это были круглые или квадратные пластинки, отполированные с одной стороны до блеска и часто покрытые узорами или надписями с другой. Надписи часто были поучительного характера. Так, на одном зеркале, найденном в Китае, было написано: «Без циркуля и угольника нельзя сделать правильный круг, значит и жить нужно по правилам».

Недавно в провинции Аньхой было найдено не совсем обычное зеркало. Оно имело форму чана и было отлито из бронзы. По-видимому, в него наливали воду и тогда получалось четкое изображение, почти не уступающее современным зеркалам.

Разобрав древнюю иероглифическую надпись, ученые установили имя владельца. Зеркало-чан принадлежало дочери князя Хэ-Люя, жившего, как полагают, в начале V в. до н. э.

Первые стеклянные зеркала, вероятно, умели изготавливать венецианские мастера в XVI в. В то время эти зеркала считались признаком богатства и предметом роскоши — их вшивали в платье, ими украшали прически, носили на шее на золотых цепочках, вделывали в дверцы карет.

Большинство древних металлических и стеклянных зеркал найдено в погребениях. Если они и при жизни служили человеку, то еще важнее было положить их в могилу!

Знаменитое стеклянное зеркало, подаренное в 1600 г. французской королеве Марии Медичи, размером не больше современной папиросной коробки, оценивалось в 15 000 франков золотом.

Первый завод стеклянных зеркал в России был построен Петром I на Воробьевых горах в Москве.

Стеклянное плоское зеркало характеризуется, кроме коэффициентов ρ_1 и τ (тех же, что и для плоского зеркального стекла), еще коэффициентом отражения зеркального

слоя, равным ρ_2 . Например, для серебряного слоя в пределах длин волн видимого участка спектра этот коэффициент отражения равен 0,92, а для ртутной амальгамы он едва достигает 0,85.

Полированная плоскость металлической пластинки приобретает свойство зеркального отражения. В этом случае имеет место перераспределение падающего на зеркало светового потока только лишь одной поверхностью. Ранее применявшиеся металлические зеркала, у которых в качестве отражающего слоя был слой меди, никеля или хрома, имели низкий коэффициент отражения. Серебро же быстро на воздухе окислялось и снижало свою отражательную способность. В настоящее время наиболее широкое распространение имеют металлические зеркала из алюминия, отражающая

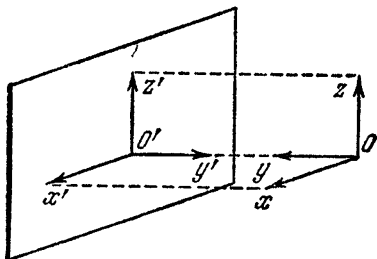


Рис. 143. Построение изображения пространственной фигуры в плоском зеркале.

поверхность которых обработана методом электролитической полировки (Альзак-процесс).

Характерным свойством плоского зеркала является образование изображения предмета на расстоянии за зеркалом, равным расстоянию, на котором предмет находится перед зеркалом.

При построении изображения пространственной фигуры в плоском зеркале можно убедиться (рис. 143), что направление снизу вверх (ось z) не изменяется, тогда как направление спереди назад (ось y), или слева направо (ось x), изменяется на противоположное; изображением левой перчатки будет правая и наоборот.

Рукописный или печатный текст, поднесенный к зеркалу, прочитать в зеркальном изображении очень трудно. Зеркальное письмо (рис. 144) можно получить двумя способами:

1) если положить чистый лист бумаги на окрашенную сторону копировальной бумаги и затем палочкой или спичкой написать на белой бумаге невидимый текст, то на противоположной стороне этой бумаги получится зеркальное письмо;

2) можно написать текст на прозрачной бумаге (кальке, папиросной бумаге или прозрачной пленке) и затем, перевернув эту бумагу справа налево, получим зеркальное письмо, т. е. письмо, которое можно прочесть только с помощью зеркала.

Пользуясь тем, что изображение в плоском зеркале удалено от его лицевой поверхности на то же расстояние, на каком предмет находится перед зеркалом, можно легко

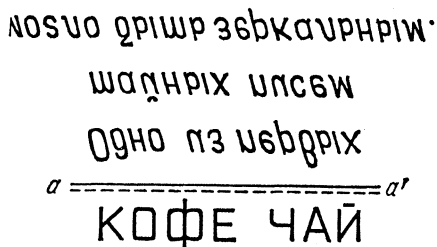


Рис. 144. Зеркальное «тайное» письмо.

определить толщину стеклянного зеркала. Если к стеклу приставить вплотную карандаш или палец, то и изображение будет касаться отражающего слоя и между ними будет расстояние, равное толщине стекла. Прodelайте это, взяв сначала зеркало металлическое, а затем стеклянное.

Заметим, что плоское зеркало по существу изменяет на противоположное только одно направление y , перпендикулярное к отражающему слою, а направление правое и левое изменяются лишь условно, т. е. когда мы бы захотели, поворачивая систему координат вокруг оси Oz на 180° , восстановить прежнее положение оси y , ось x оказалась бы направленной противоположно. В этом легко убедиться, рассматривая рис. 144 и его изображение в зеркале.

Внизу на рис. 144 написаны два слова: кофе и чай; устанавливая зеркальную плоскость вертикально и параллельно линии aa' , мы видим, что слово кофе и в зеркале сохраняет свое правильное начертание, тогда как буквы слова чай перевернулись «вверх ногами». На самом деле и буквы слова кофе также перевернулись, но так как они симметричны относительно горизонтальной оси, то их начертание в зеркале не изменилось. В русском алфавите есть ряд букв, обладающих горизонтальной или вертикальной осью симметрии, а есть и такие, которые симметричны относительно обеих этих осей.

В зеркальном потолке человек видит себя вверх ногами. На рис. 145 мы видим парковую беседку на берегу прозрачного озера и ее изображение в воде. Поворачивая



Рис. 145. Парковая беседка и ее изображение в зеркальной воде озера.

рисунок «вверх ногами», мы меняем местами предмет и изображение и замечаем, что если некоторое приметное дерево находится справа от беседки, то на изображении оно находится слева, и наоборот. На изображении перевернулась и сама беседка.

Плоские зеркала с давних времен используются для создания оптических иллюзий в первую очередь в театрах, затем с рекламными целями и т. д.

С давних времен известны такие аттракционы, как «говорящая голова», «женщина-паук», «женщина без туловища» и т. д.

Некоторые из подобных аттракционов организуются следующим образом.

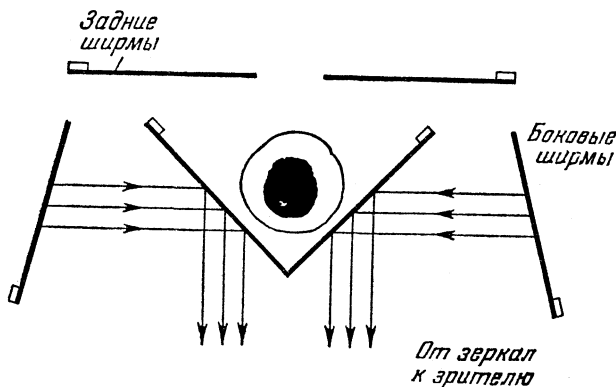


Рис. 146. Иллюзион «говорящая голова женщины».

На сцене или в витрине устанавливается трехгранный ящик (рис. 146, вид сверху), вмещающий человека и невидимого зрителя.

димый зрителям благодаря тому, что стороны ящика, обращенные к зрителям, закрыты плоскими зеркалами высокого качества, в которых изображаются нижние части боковых щитов декорации, имеющих ту же окраску и яркость, как и весь фон декораций или второго занавеса.

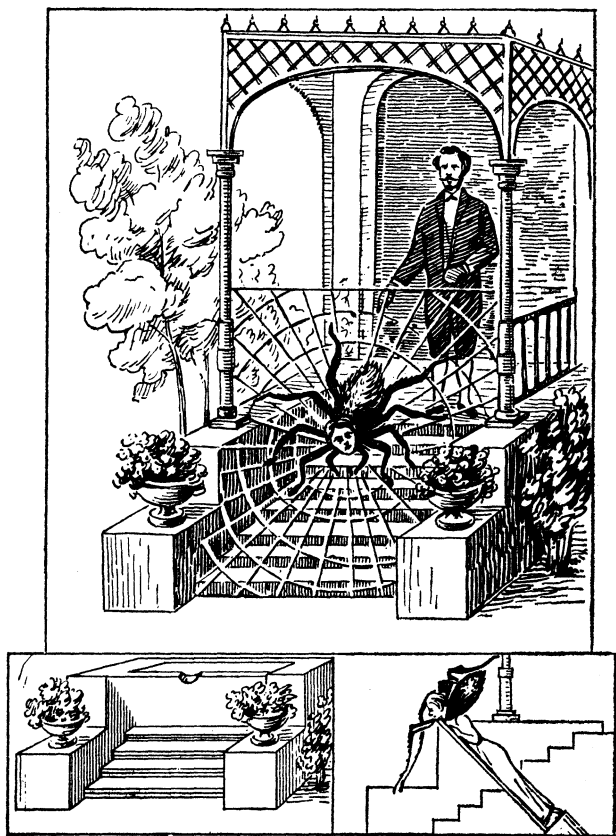


Рис. 147. Иллюзион «женщина-паук».

«Говорящая голова» просовывается через отверстие в верхней крышке и возвышается как бы над пустым пространством.

На рис. 147 для аттракциона «женщина-паук» применено плоское зеркало, установленное над 4-й ступенькой

лестницы под углом в 45° , отражающее ступеньки и создающее иллюзию продолжения лестницы. В этом случае на кромке верхней площадки лесенки, где стоит мужчина, имеется отверстие, в которое проходит голова женщины. Это отверстие замаскировано телом паука, его мохнатыми лапами и паутиной, лежащими на плоском стекле, через которое видны ступеньки лесенки, самого же стекла

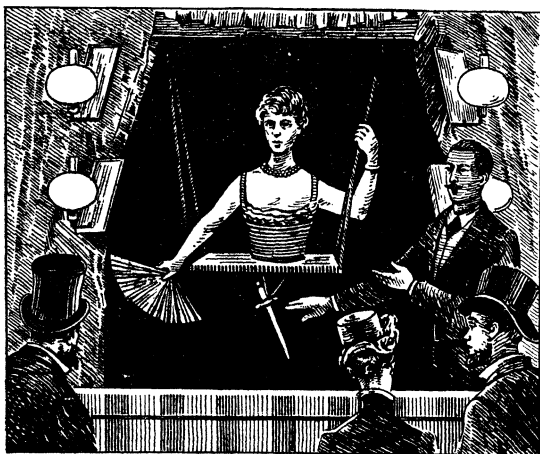


Рис. 148. Иллюзион «женщина без туловища».

зрители не видят. Женщина лежит на зеркале, как показано на рисунке внизу.

Таким же способом можно построить аттракцион с женской головой, имеющей туловище русалки с шевелящимися хвостом и плавниками.

На рис. 148 показан бюст женщины без туловища, которое замаскировано с помощью зеркал, а с подвешенного слева на рисунке кинжала стекает каплями «кровь».

Легко убедиться, что зеркало может быть значительно меньше, чем предмет, изображение которого должно быть полностью видимо за зеркалом. Это доказывается следующим образом.

Чем ближе мы находимся к окну, тем больший участок улицы мы видим. Линии, проведенные от глаза к оконным косякам, ограничивают наше поле зрения. Так как плоское зеркало является для нас как бы окном, через кото-

рое мы видим находящиеся за ним мнимые предметы, то и поле зрения зеркала подчиняется тем же законам, что и поле зрения окна. Чем ближе мы подходим к зеркалу, тем больше оказывается наблюдаемое нами поле зрения и тем больших размеров предметы мы можем охватить глазом. Это не относится, однако, к нам самим, так как при нашем приближении к зеркалу и наше изображение тоже приближается к зеркалу.

Угол зрения, под которым мы его видим, увеличивается во столько же раз, во сколько увеличивается поле зрения.

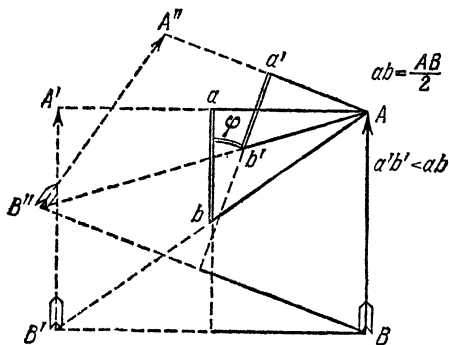


Рис. 149. Для рассматривания изображения человека в полный рост вертикально висящее зеркало ab должно иметь высоту не менее половины роста человека; наклонно повешенное зеркало $a'b'$ может иметь меньшие размеры.

Вообще на каком бы расстоянии мы ни находились перед вертикально расположенным зеркалом, мы можем видеть сразу только такую часть нашего тела, которая равна удвоенной длине зеркала по этому направлению.

Например, если мы желаем видеть себя в зеркале во весь рост, то должны взять зеркало длиной по крайней мере в половину нашего роста. Наше изображение всегда будет находиться от нас на двойном расстоянии сравнительно с расстоянием от нас самих до зеркала. На рис. 149 размер зеркала $ab = 1/2 AB$.

Есть способ и в короткое зеркало видеть себя во весь рост: для этого зеркало надо наклонить и поднять. Поле зрения при этом уменьшится, но наше изображение примет

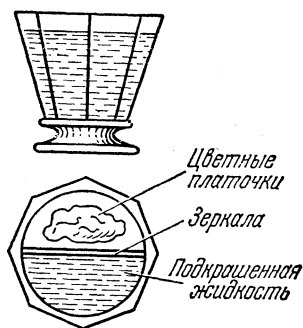
в зеркале такое положение, что его будет легче охватить взглядом. Заметим, что если угол наклона зеркала к стене φ равен 45° , то будет видно только изображение пола.

Забавное явление можно наблюдать около шкафа с зеркальной дверцей. Если встать с одной стороны зеркальной дверцы, спрятав одну ногу и половину туловища за боковой стенкой шкафа и затем поднять ногу, видимую в зеркале, то для наблюдателя, находящегося вблизи другой боковой стенки шкафа, будет видно изображение в зеркале человека, висящего в воздухе над полом и не касающегося его ногами.

Иллюзионисты часто используют плоское зеркало в качестве перегородки для прозрачных сосудов.

Если двумя склеенными плоскостями отражающего слоя зеркалами перегородить, например, стеклянную вазу (рис. 150), то можно в одну половину ее лить воду и из зрительного зала будет видно, как вся ваза наполняется водой. В то же время в другой половине вазы, повернутой от зрителя, может находиться живой голубь или кролик, сухие платочки или серпантин и пр. Иллюзионист погружает руку в воду и... достает из нее совершенно сухие предметы или выпускает голубя.

Рис. 150. Стеклянная ваза, разделенная пополам склеенными зеркалами.



Зеркала под углом друг к другу. Два и более плоских зеркал, поставленных под некоторыми углами друг к другу, позволяют наблюдать многие интересные явления.

Так, например, при помощи двух зеркал можно наблюдать явление отсутствия переворачивания изображения по отношению к предмету. Если два плоских зеркала расположить под углом 90° друг к другу, то поднесенный к прямому углу печатный или письменный текст не преобразуется в зеркальное письмо и легко читается. Рассматривая свое изображение в прямоугольном зеркале, мы видим правую сторону своего лица справа, а левую слева. Прищулив правый глаз, замечаем, что и изображение в зеркале прищурит правый глаз и т. п. Это объясняется тем, что в таком угловом зеркале изображение состоит из двух

частей, при этом правая половина лица, отразившись в правом зеркале, отражается в то же время и в левом — и это заставляет глаз воспринимать правую часть изображения слева и наоборот.

Плоские зеркала под углом 90° друг к другу имеют и еще одно «магическое» свойство. Оказывается, если такое зеркало повернуть на 90° вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр ребра, то изображения предметов в этом зеркале повернутся вверх ногами, т. е. на 180° . Это «необычное» явление объясняется изменением положения двух осей фигуры, что можно доказать геометрическим построением изображения фигуры в системе этих двух зеркал.

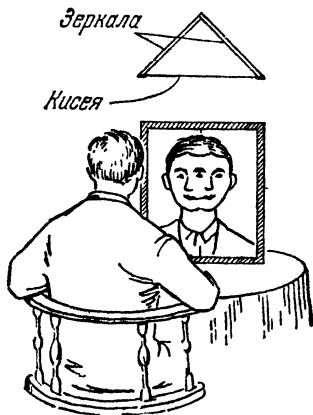


Рис. 151. Плоские зеркала под углом 90° и немного менее дают совмещенные и несомещенные изображения.

Если вы станете уменьшать угол между зеркалами (от 90°), то ваше изображение начнет расширяться (рис. 151); сначала вы увидите у себя широкий рот, два носа и три глаза, потом при дальнейшем уменьшении угла появятся два изображения, если еще более сблизить зеркала — будет четыре изображения и т. д. В таких зеркалах можно показывать уродливые изображения. Чтобы сделать незаметным все устройство, можно открытую сторону треугольника затянуть голубым газом или белой капроновой тканью и поставить какую-либо рамку. Сверху отверстие над зеркалами закрыть картоном. Тогда совсем можно не заметить двух зеркал, особенно если зрители будут сидеть лицом к свету. Этим свойством двух плоских зеркал пользуются для показа шуточных изображений или для введения в заблуждение человека, неосведомленного относительно свойств зеркальных изображений.

Прием переверачивания изображений иногда используется в кинотехнике, когда желают пропускать фильм с конца, т. е. в обратной последовательности кадров. Так, на рис. 152 AB — предмет; $A'B'$ — изображение предмета в первом зеркале, $A''B''$ — изображение первого

изображения во втором зеркале. Это изображение по отношению к предмету получается перевернутым.

Два зеркала, установленные под углом друг к другу, использованы в иллюзионе А. А. Вадимова «Тамбурин», который был сконструирован в 1934 г. и более 20 лет пользовался неизменным успехом у зрителей. Зеркала здесь

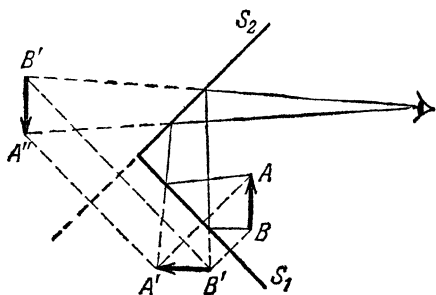


Рис. 152. Прием переворачивания изображений двумя плоскими зеркалами.

служили для того, чтобы перегороденный ими восьмигранный иллюзионный шкафчик казался совершенно пустым.

С помощью зеркал, расположенных под углом φ друг к другу, можно получить несколько изображений одного и того же предмета. При этом число изображений n будет равно $n = \frac{360^\circ}{\varphi} - 1$. Так, например, если перед двумя плоскими зеркалами, расположенными под углом 72° , посадить человека и сфотографировать и его и все его изображения, то мы получим на одной фотопластинке пять снимков (рис. 153).

Для торговой рекламы в витрине между зеркалами, расположенными под углом друг к другу, помещается, например, один флакон духов, а создается впечатление множества таких флаконов; один букет цветов, поставленный в вазе среди этих зеркал, создает иллюзию целого цветочного поля.

Две или три зеркальные пластинки, установленные так, что они образуют полую зеркальную призму, позволяют устроить интересную игрушку — калейдоскоп *).

*) Греческое «калейдоскоп»: kalas — красивый; eidos — вид; skopeo — смотрю.

Зеркальная призма помещается внутри бумажной трубки. Один конец этой трубки заклеивается картоном с малым отверстием — зрачком для наблюдения.

На другом конце трубки помещается круглая коробка, у которой внутреннее круглое донце из прозрачного стекла,

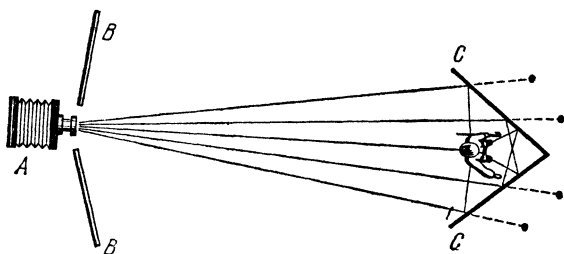


Рис. 153. С помощью двух зеркал, расположенных под острым углом друг к другу, можно получить 5 фотоснимков одного и того же лица. Схема внизу поясняет процесс фотографирования и образования пяти изображений.

а второе, наружное, из матового стекла, полученного, например, путем натирания поверхности обычного стекла наждачной бумагой. Внутри этой коробки помещают осколки цветного стекла, прозрачные кусочки пластмасс, кусочки просвечивающих сухих листьев, цветных птичьих перьев и т. п.

Когда через матированное стекло внутрь калейдоскопа будет проникать световой поток, то содержащиеся в нем цветные кусочки будут многократно изображаться в

зеркала, расположенных под углом друг к другу, и наблюдатель, смотрящий в отверстие-зрачок, будет видеть причудливый цветной орнамент. Каждое встряхивание трубки будет вызывать смещение осколков и видимая картина будет меняться, образуя новое чудесное зрелище.

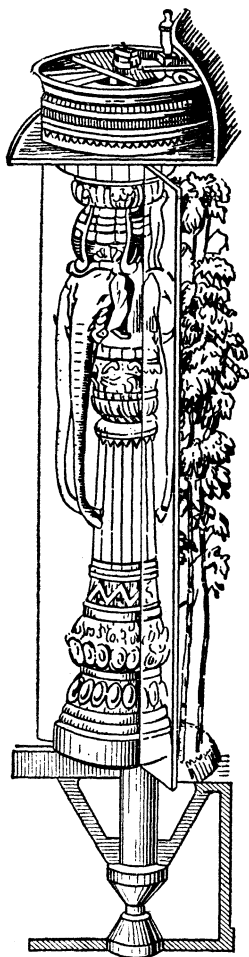


Рис. 154. Макет для устройства иллюзиона «Дворец чудес».

С помощью зеркал, установленных под углом друг к другу, используя сравнительно простой макет, подобный представленному на рис. 154, можно создать на сцене или в павильоне киносъемок декорацию, имеющую вид подлинного дворца чудес с многочисленными переливами цветов и со сплетениями сложнейших фигур и орнаментов.

Характерной особенностью таких фигур будет их строгая симметрия относительно линий соединения плоских зеркал друг с другом. С помощью четырех зеркал, установленных под углом в 45° внутри изогнутой трубки (рис. 155), можно видеть пламя свечи или ярко освещенный предмет через непрозрачную перегородку, книгу или стенку.

В военных оптических приборах (перископы, дальномеры, бинокли и т. д.) вместо плоских зеркал используют для оборачивания изображений призмы, которые не имеют зеркального покрытия, обладающего тем недостатком, что оно разрушается с течением времени.

Установив три зеркала так, чтобы они образовали замкнутый треугольник, и поместив внутрь этого треугольника две или три фигурки и осветив их сверху, можно видеть через отверстие в амальгаме одного из зеркал или в щель между кромками двух соседних зеркал толпы людей, находящихся во всевозможных ракурсах по отношению к наблюдателю.

Этот принцип был, например, использован при съемках кинокартин «Илья Муромец», «По щучьему велению» и др., когда потребовалось появление «на чистом поле» многочисленного войска.

Если два зеркала расположить параллельно друг другу и между ними поместить фигуру с зажженным факелом

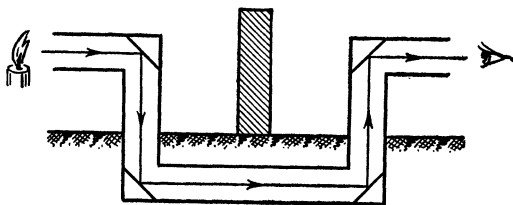


Рис. 155. Пламя свечи можно видеть через непрозрачный предмет (перископ-игрушка).

(рис. 156), то через отверстия в амальгаме зеркал можно наблюдать «многолюдное» факельное шествие.

Известно множество случаев применения плоских зеркал: иногда для того, чтобы передать при демонстрации

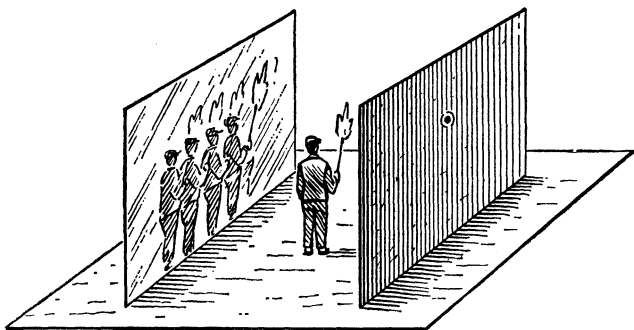


Рис. 156. Иллюзион «факельное шествие».

фильма на экране сказочные или фантастические события, появление и исчезновение призраков и духов; иногда для того, чтобы при использовании малых макетов или моделей получить желательные масштабные соотношения между фигурами людей и частями зданий. Заметим, что здесь эти приспособления служат не только для того, чтобы создать необычный зрительный эффект, но и для

экономии средств, расходуемых на натурные или павильонные съемки.

Не имея возможности приводить здесь описания различных многочисленных приемов и способов использования плоских зеркал при киносъемках, укажем на один пример, поясняющий, в дополнение к сказанному ранее, организацию разномасштабной макетной киносъемки.

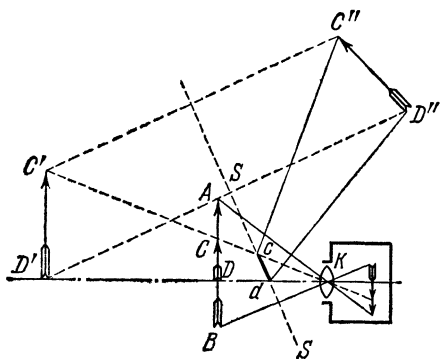


Рис. 157. Схема киносъемок разноудаленных предметов в одном масштабе (например, людей на фоне декорации миниатюрных размеров).

На рис. 157 AB — маленькая модель (например, фасад дома). Модель установлена так близко перед кинокамерой K , что она представляется в кинопроекции размером в настоящий дом. У ворот дома CD артистами должна быть разыграна сцена. Поэтому ворота должны быть построены в натуральную величину. Их видимая (угловая) величина должна быть, однако, такой же, как у ворот CD на модели. Продолжив соответствующие лучи KC и KD , увидим, что настоящие ворота и артисты должны находиться в $C'D'$, для того чтобы их угловая величина была равна угловой величине CD на модели. Для этой цели в части CD модель должна быть прозрачна или вырезана. Однако ворота можно установить и не в $C'D'$. Поместим в SS зеркало; опустив из C' и D' на SS перпендикуляры, построим изображение $C''D''$; затем к точкам пересечения c и d лучей KC и KD проведем падающие лучи $C''c$ и $D''d$. Результат получится такой же, как если бы ворота были $C'D'$, а

зеркала в SS не было. Как видно, зеркало может быть тем меньше, чем ближе оно помещается к камере.

В зависимости от наклона зеркала ворота $C'D'$ с артистами можно установить и в другом месте. Можно также, передвигая зеркало, перемещать CD в плоскости AB . Таким образом, в выборе места для $C'D'$ мы оказываемся значительно свободнее. Само собой разумеется, что зеркало должно быть прозрачно в том месте, где оно перекрывает модель AB , — серебряный слой должен быть удален для того, чтобы можно было получить снимок модели.

С помощью плоских стекол, полупрозрачных и обычных плоских зеркал иногда разыгрывались целые иллюзионно-феерические пантомимы и «жуткие» сказочные сцены. В них могли участвовать десятки человек; на сцене вставали из могил мертвецы, появлялись демоны, гномы и т. д.

Весьма популярной была, например, пантомима «Сон живописца». Согласно сюжету молодой художник рисует картину «Прекрасная Галатеея». Постепенно из-под кисти на полотне вырисовывается фигура женщины. Фигура становится все более резкой и отчетливой; вдруг... она отделяется от полотна и движется к художнику.

Галатеея появлялась на полотне не сразу, а постепенно. Для этого артистку, игравшую Галатеею, покрывали черной шалью. Концы шали прикреплялись к деревянным валикам. Вращаясь, валики равномерно стягивали с женщины покрывало. Сначала открывалось лицо, затем плечи, грудь, руки. Наконец, вся фигура отражалась на мольберте. Тогда артистка начинала двигаться, медленно приближаясь к художнику, и по мере ее приближения на стекле все отчетливее становилось ее изображение. Наконец, она отделялась от стекла. Таким же образом на другом стекле постепенно появлялось сначала изображение дьявола, а потом отделялась и его фигура.

Качество плоских зеркал. Как уже указывалось ранее, плоское зеркало, которое собираются применить для получения какой-либо иллюзии, должно быть точным, высококачественным.

Рассматривая поверхность зеркала под прямым углом, обычно не замечают его недостатков (пузырьки воздуха в толще стекла, пятна на отражающем слое, царапины на поверхности и т. п.). Из-за того, что каждый отдельный пучок лучей, поступающих в глаз, отражается лишь от небольшой части зеркала, неровности его поверхности и

другие недостатки не обнаруживаются. Испытание плоского зеркала, применяемого для создания иллюзий, можно производить с помощью сетки методом, предложенным В. Н. Чиколевым. Сетку с равномерно нанесенными линиями, например миллиметровую бумагу, рассматривают так, чтобы линия зрения составляла с поверхностью зеркала малый угол, как это показано на рис. 158. В этом случае небольшой пучок лучей, идущих в глаз, захватывает большую часть поверхности зеркала и все его недостатки становятся видимыми благодаря получающемуся искажению сетки.

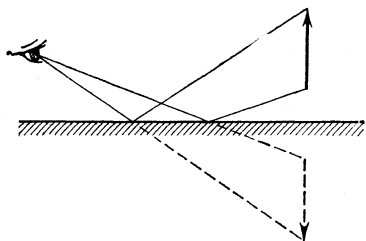


Рис. 158. Метод испытания плоских зеркал.

Можно проверять зеркало еще и по методу светового пятна. Для этого на зеркало направляется параллельный пучок лучей, например от дневного солнечного света, и отражается на экране. Образовавшееся на экране световое пятно должно иметь по возможности равномерную

яркость и не иметь выделяющихся темных и светлых пятен. Испытание будет более удачным в затемненной комнате. При испытаниях подобного рода может быть обнаружено интересное свойство некоторых плоских зеркал.

Например, при испытаниях древних бронзовых зеркал, изготовленных в Японии, было обнаружено следующее: в отраженном на экран световом пятне («зайчике») был виден орнамент (или рисунок), находящийся на обратной стороне зеркала. Такие зеркала известны под названием «японских волшебных зеркал».

В старину зеркала в Японии изготавливали из полированной бронзы, причем искусство отливки и полировки зеркал было доведено до такого совершенства, какого не было у других народов.

На рис. 159 слева представлена фотография тыльной стороны такого японского зеркала.

В данном случае как одно целое с корпусом зеркала отлит рельефный рисунок растения кира с бутонами цветов над ним.

Справа на рис. 159 приведена фотография светового пятна («зайчика») от этого зеркала на экране. Причина

появления такого свойства у японских зеркал следующая. Под действием сильного давления при ручной полировке тонкие части зеркала прогибались больше, чем толстые; они больше стирались и становились менее выпуклыми. Оказывается, ничтожных изменений кривизны поверхности зеркала достаточно, чтобы в отбрасываемом на экран пятне получилось «магическое» изображение.

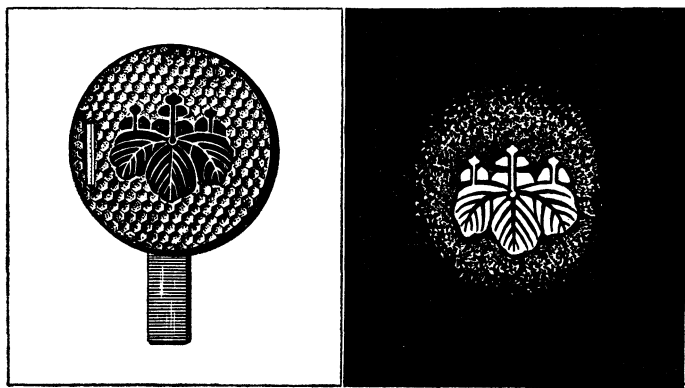


Рис. 159. Японское «волшебное» зеркало.

Теперь такие «волшебные» зеркала могут быть приготовлены значительно проще. На медных зеркалах любой рисунок (цветок, змея, сердце, звезда и т. п.) вытравливается кислотой (погружения в кислоту на три секунды достаточно), после чего рисунок на лицевой поверхности зеркала сглаживается полировкой (двадцати минут ручной полировки достаточно, чтобы рисунок не был виден невооруженным глазом). Направляя пучок параллельных лучей, отраженных этим зеркалом, на экран или белую стену, на световом пятне можно будет видеть этот рисунок.

Вращающиеся зеркала. Известно, что при повороте плоского зеркала на некоторый угол φ , отраженный от него луч поворачивается в том же направлении на двойной угол 2φ . Это свойство используется в некоторых практических целях (например, для измерения малых угловых отклонений).

С помощью вращающихся зеркал создаются некоторые особые световые эффекты.

Мелкие кусочки плоских зеркал можно с большим успехом использовать для иллюминации танцевального зала. Для этого устраивается вращающийся зеркальный шар или пирамида.

Вращающийся зеркальный шар делают из папье-маше. Хорошо для этих целей подходит старый школьный глобус диаметром в 30 см или более. Если готового бумажного шара не имеется, его можно изготовить, наклеив 8—12 слоев плотной бумаги на какой-либо шарообразный предмет, например, на шаровой светильник из молочного стекла.

Таким путем изготавливаются два полушария, которые затем склеиваются друг с другом. Сквозь склеенный и просушенный шар пропускается железный стержень (ось) диаметром 5—6 мм, который на одном конце заканчивается крючком для подвески шара к потолку или люстре на хорошо закручивающейся нити. Стержень также может быть соединен с осью ротора электродвигателя, установленного на некотором постаменте и имеющего редуктор, обеспечивающий вращение шара со скоростью не более 10 об/мин.

Стержень укрепляется на шаре жестяными пластинками, припаянными к стержню или укрепленными на нем между гайками, навинченными на стержень у полюсов шара.

Поверхность шара покрывается кусочками тонких плоских зеркал в виде квадратов, треугольников и произвольной формы осколков, которые можно достать в любой зеркальной мастерской. Наклейку зеркал на шар производят хорошим столярным клеем, эмалитом или клеем БФ. Кусочки зеркала должны сплошь покрывать поверхность шара. Если имеется электродвигатель универсального проигрывателя (рассчитанный на 33—78 об/мин) или моторчик Уорена на 3—5 об/мин, то его ось в первом случае через редуктор (состоящий из червячной или конической пары зубчаток), а во втором случае без редуктора соединяют со стержнем шара так, чтобы шар вращался со скоростью 3—10 об/мин.

Установив шар на месте или подвесив его к потолку, при помощи двух (или трех) небольших прожекторов или зеркальных ламп накаливания освещают его и приводят во вращение.

При вращении такого освещенного зеркального шара (рис. 160) стены, потолок танцевального зала покрываются множеством бегающих световых бликов — «зайчиков», создавая причудливую картину падающего снега

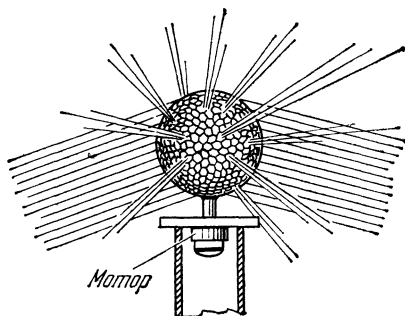


Рис. 160. Вращающийся зеркальный шар.

или порхающих светящихся мотыльков. С помощью цветных светофильтров, помещенных перед прожекторами, блики могут быть красными, голубыми, зелеными и т. д.

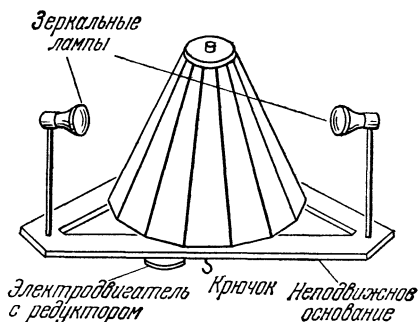


Рис. 161. Вращающаяся зеркальная пирамида.

Не менее эффектное зрелище создает другое устройство — вращающаяся зеркальная пирамида (рис. 161). Из алюминия, дюрала или железа делают правильный двенадцатиугольник. Радиус описанной вокруг него окружности равен 30 см. Между противоположными сторонами

многогранника по диаметру приваривают или крепят два прутка, к которым в центре фигуры прикрепляют пластину толщиной в 3—5 мм. Затем к углам многогранника крепят металлические прутки сечением в 10—12 мм. В верхней части их укрепляют в диске, толщина

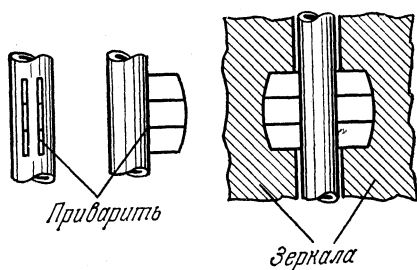


Рис. 162. Крепление зеркал пирамиды.

которого порядка 5—8 мм и диаметр 80 мм. Между ребрами устанавливают стеклянные пластины и закрепляют их отгибающимися лапками (рис. 162).

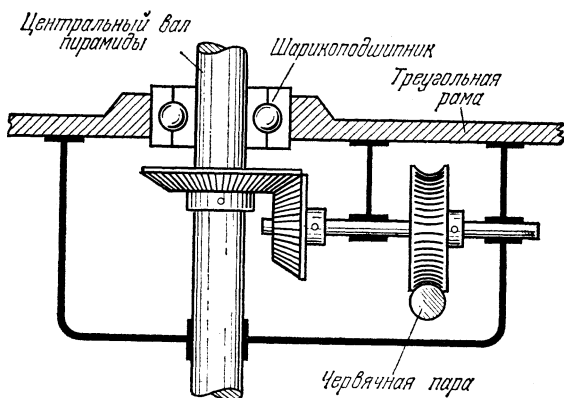


Рис. 163. Схема редуктора пирамиды.

Сверху пирамиды через диск и отверстие в пластине пропускают центральный валик диаметром 12—15 мм, который проходит через обойму шарикового подшипника (рис. 163) и несет коническую шестерню редуктора. В вершине валик ввинчивается в отверстие диска, а в центре пластины закрепляется контргайкой.

Пирамиду устанавливают на неподвижное основание-раму, которую делают из полосового или углового железа в форме треугольника. Длина каждой стороны основания равна 720 мм.

К раме на двух поперечных планках приваривают площадку из листового железа для установки электродвигателя и крепления внешней обоймы шарикоподшипника. Так как обычно электродвигатели малой мощности делают большое число оборотов в минуту, то и здесь необходим зубчатый редуктор (хотя бы из одной червячной и одной конической зубчатой пары).

К углам рамы основания крепят трубчатые стойки для установок патронов зеркальных ламп накаливания мощностью 300—500 вт.

Узкие пучки света, падая на вращающиеся зеркальные грани пирамиды, образуют причудливые узоры. Если подвесить пирамиду к потолку вершиной вниз, то блики света достаточно резко обозначат границу танцевального круга. Пирамида может быть также установлена на полу посреди танцевальной площадки.

Можно на вершине пирамиды укрепить круглый картонный диск, разделенный на столько секторов, сколько граней имеет пирамида. На каждом секторе диска, обращенном к соответствующему зеркалу, помещается рисунок танцующей пары в последовательно чередующихся друг за другом положениях. При вращении пирамиды с определенной скоростью изображения пары в зеркалах, совмещаясь друг с другом, создадут впечатление движущихся фигур. В качестве сюжета для этих рисунков можно взять любой из указанных в первой части (стр. 97—98).

13. Иллюзии от вогнутых и выпуклых зеркал

Вогнутые зеркала. Замечательным свойством вогнутых зеркал является их способность давать следующие изображения: увеличенное, уменьшенное или равное по величине предмету, прямое или перевернутое, действительное или мнимое. Тот или иной характер изображение предмета приобретает в зависимости от того, как предмет расположен относительно оптической оси, фокуса и центра кривизны зеркала.

В настоящее время наиболее широкое распространение в практике имеют сферические и параболические вогнутые

зеркала, которые могут быть применены и для создания некоторых оптических иллюзий.

Сферическое зеркало, тонкое стеклянное или металлическое, имеет единый центр кривизны, совпадающий с центром окружности, образующей отражающую поверхность, а фокус осевых лучей находится на половине радиуса, совмещенного с оптической осью зеркала.

Параболическое зеркало образуется чаще всего вращением ветви параболы вокруг оси, являющейся в этом случае оптической осью зеркала. На этой оси на расстоянии, равном половине параметра параболы от ее вершины, находится фокус отражателя. Если у сферического зеркала различные участки его поверхности или кольцевые зоны имеют фокус в разных точках (явление сферической аберрации), то у параболического зеркала (теоретически безабберационного) точка фокуса является единственной для всех элементов его поверхности.

Если перед сферическим зеркалом на расстоянии, большем, чем его фокусное расстояние, но меньшем, чем радиус кривизны, поместить какой-нибудь хорошо освещенный предмет, то на некотором удалении от зеркала в воздухе без экрана с определенного места можно будет видеть действительное, увеличенное, перевернутое изображение предмета. Это изображение будет тем дальше от зеркала и тем более увеличено, чем ближе будет находиться предмет к фокусу зеркала.

Простейшие сферические зеркала из металла умели изготавливать еще в Древней Греции и в древнем Риме и указанным выше свойством этих зеркал пользовались жрецы, показывая чудо «явления богов» народу.

Из исторических документов известно, что в 1700 г. имел распространение религиозный фокус — явление младенца Христа. Его описание гласит: «Перед вогнутым зеркалом, представлявшим собой большой сферический сегмент, была подвешена за ногу на волосе хорошо вылепленная восковая фигура младенца Христа таким образом, что она не была заметна для публики — для чего непосредственно за местом изображения фигуры (в пространстве) была установлена мраморная колонна. При рассматривании с известного места можно было видеть изображение младенца, стоящего на колонне. Однако при попытках дотронуться до изображения вместо фигуры ощущали воздух, что еще более увеличивало удивление непосвященных».

На рис. 164 приведен случай применения вогнутого стекла для получения висящего в воздухе изображения цветка или букета цветов; пытаясь взять этот букет рукой, человек «хватается» за воздух.

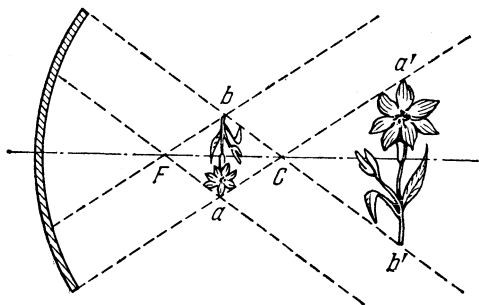


Рис. 164. Получение действительного изображения с помощью вогнутого зеркала. Цветок, «висящий в воздухе».

На Выставке достижений народного хозяйства СССР в павильоне «Радиоэлектроника» можно видеть висящий в воздухе радиоприемник. Конструктор этой установки

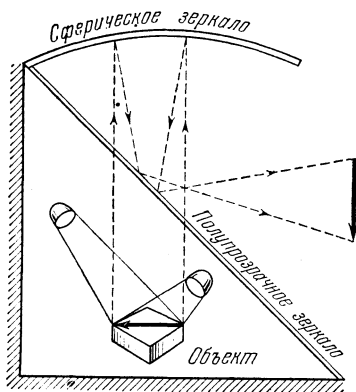


Рис. 165. Схема демонстрации «висящего в воздухе» радиоприемника на ВДНХ.

Я. А. Коробов для того, чтобы надежнее и менее заметно замаскировать приемник от наблюдателей, применил еще и полупрозрачное плоское зеркало. Здесь (рис. 165) приемник

помещен в нише, стенки которой обтянуты черным бархатом, сферическое зеркало находится сверху, а полупрозрачное зеркало расположено под углом в 45° к горизонту. Приемник хорошо освещается от арматур направленного излучения, и световой поток, отраженный от плоского зеркала, усиливает это освещение. Изображение приемника отчетливо видят все наблюдатели, а сам приемник, стенки ниши и осветительные арматуры сквозь полупрозрачное зеркало не видны.

Устройства подобного типа находят применение в рекламных установках. В этих случаях изображение рекламируемого предмета может появляться в витрине магазина и вдруг исчезать, когда освещение предмета выключается. По желанию изображение одного предмета может сменяться изображением другого, если основание, на котором укреплены рекламируемые предметы, будет поворачиваться.

Вогнутое параболическое зеркало может быть применено для этих целей с еще бóльшим успехом, так как оно является более точным в оптическом отношении и, как правило, амальгамируется чистым серебром.

Изображение предмета, удаленного от зеркала на значительное расстояние, как у сферического, так и у параболического зеркала получается уменьшенное, действительное и перевернутое между точкой фокуса и центром кривизны. Изображение бесконечно удаленного предмета теоретически должно получиться в фокальной плоскости зеркала.

Если предмет будет находиться близко к оптической оси и на двойном фокусном расстоянии от сферического или параболического зеркала, то изображение, равное по величине предмету, перевернутое и действительное, будет находиться в той же плоскости, что и предмет.

Если предмет находится на расстоянии менее двойного фокусного, то изображение у обоих типов зеркал (действительное, перевернутое, увеличенное) будет дальше двойного фокусного расстояния.

Если предмет ближе к зеркалу, чем фокус, то образуется увеличенное прямое и мнимое изображение (за зеркалом); поэтому небольшое сферическое или параболическое зеркало может быть использовано для бритвы. Изображение будет более четким, если лицо, а не зеркало будет освещаться лучше.

Интересными случаями применения вогнутых зеркал являются различные трюковые кино съемки. Не имея возможности рассмотреть здесь множество известных и уже применявшихся оптических схем трюковых кино съемок с вогнутыми зеркалами, рассмотрим следующую схему.

Пусть AB (рис. 166) — предмет (или человек); перед ним находятся два плоских зеркала s_1 и s_2 , расположенные под прямым углом друг к другу. Зеркало s_1 дает изображение $A'B'$; от него лучи падают на зеркало s_2 и образуют перевернутое изображение $A''B''$. Далее лучи падают на вогнутое зеркало s , которое дает изображение $A'''B'''$, вторично его переворачивая. Таким образом, изображение в вогнутом зеркале оказывается уже прямым. Оно находится около фокальной плоскости зеркала. Зрителю, от которого края вогнутого зеркала скрыты, кажется, что он видит предмет свободно реющим в воздухе.

Чтобы определить необходимый размер зеркал, надо построить лучи, идущие от изображения в глаз наблюдателя, т. е. «действующие» лучи. Это производится следующим образом: от конечных точек изображения $A'''B'''$ проведем лучи к крайним действующим точкам вогнутого зеркала.

Таким образом, мы получаем световой пучок z_1z_2 . Изображение в зеркале будет видно лишь в том случае, если глаз наблюдателя находится внутри угла, стянутого дугой z_1z_2 . Если глаз находится вне этого угла, отраженные от зеркала к изображению лучи не могут попасть в глаз, и поэтому изображение не будет видно.

Следовательно, расположение мест для зрителей или мест установки съемочного аппарата определяется расположением зеркал. Если крайние места для зрителей, которые могут быть еще использованы, заданы, можно путем построения лучей к вогнутому зеркалу и отраженных от него на плоские зеркала, определить необходимые размеры всех зеркал.

При помощи такого приспособления можно снимать, например, в любом уменьшении людей, находящихся среди предметов, имеющих натуральную величину. Очевидно, подобные оптические приспособления применены при съемках фильма «Кашей Бессмертный», а также короткометражного фильма «Яблочко» художников И. и В. Никитченко, где матрос танцует на клавишах и крышке рояля и даже на портсигаре в руках пианиста.

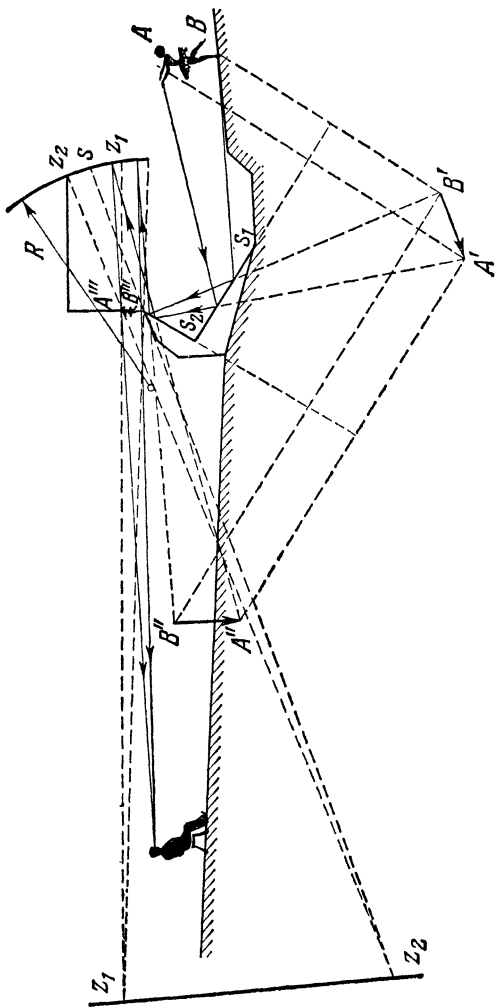


Рис. 166. Схема демонстрации или киноъемки миниатюрной балерины или другого артиста, танцующего «на клавишах рояля».

По схеме, которая аналогична приведенной на рис. 166, в Германии в начале нашего века устраивались зеркальные театры живых миниатюр.

Выпуклые зеркала. Выпуклые зеркала встречаются реже, так как находят менее широкое применение в практике. Они почти не используются в технике освещения, световой сигнализации и кинопроекции.

Изображение в этом случае (рис. 167) всегда находится за зеркалом, следовательно, оно мнимое, прямое и тем меньше, чем дальше предмет находится от зеркала.

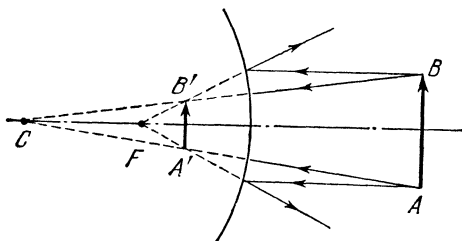


Рис. 167. Схема образования изображения в выпуклом зеркале.

Наиболее широкое применение выпуклые зеркала имеют в автотранспорте.

Водители автобусов и автомобилей с помощью выпуклого зеркала, обращенного назад, видят догоняющие их автомашины и могут не опасаться неожиданного обгона.

В быту иногда приходится встречаться с выпуклыми зеркальными поверхностями, например никелированные или хромированные поверхности кофейника, самовара, ложки, зеркального елочного шара, шарообразного или цилиндрического графина с водой и т. п.

Рассматривая свое изображение в таком зеркале, мы видим его необычно искаженным и уродливым — то непропорционально вытянутым или расплюснутым, то с искривленными и размытыми чертами. Дело в том, что такие зеркальные поверхности, двойной и, как правило, неодинаковой кривизны, дают искаженные изображения предметов вследствие разной степени увеличения в разных плоскостях, различной резкости изображения, пространственного смещения изображения одних деталей относительно других и т. п. При этом оказывает свое влияние на

качество изображения и низкая оптическая точность этих зеркальных поверхностей.

Многим известны «комнаты смеха», устраиваемые в парках культуры и отдыха или в домах культуры. В этих комнатах устанавливается ряд кривых зеркал, вогнутых и выпуклых, сферических, цилиндрических, конических, имеющих поверхности двойной кривизны (например, параболо-цилиндрические, параболо-эллиптические и др.), волнистые и составные. На рис. 168 приведено несколько возможных форм кривых зеркал, которые могут быть,

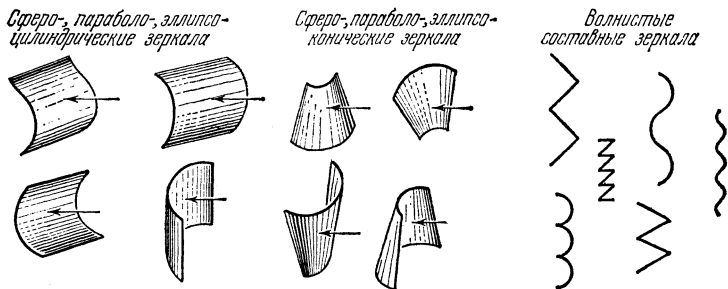


Рис. 168. Несколько возможных форм кривых зеркал «комнаты смеха».

во-первых, вогнутыми или выпуклыми и, во-вторых, могут быть подвешены на стенах или установлены в рамах на полу так, что ось их может быть вертикальна или горизонтальна. Таким образом, на рис. 168 можно насчитать 16 типов кривых зеркал, кроме волнистых и составных. Посетители «комнаты смеха», медленно проходя вдоль фронта зеркал, видят, как их фигуры, изображенные в зеркалах, претерпевают самые удивительные превращения. Ваша фигура то чудовищно устремляется вверх, сужаясь и растягиваясь, то превращается в приземистого маленького человечка с брюшком и нелепо укороченными кривыми ногами. При переходе от зеркала к зеркалу весьма неожиданно и крайне причудливо меняется форма головы и черты лица. Неожиданность и нелепость этих превращений не могут не вызвать улыбки, и в комнате царит громкий смех.

Эти свойства кривых зеркал были известны достаточно давно и первые шаги к их изучению начались с получения

так называемых анаморфоз *), т. е. неправильных, искаженных определенным образом рисунков, изображения которых в некоторых кривых зеркалах представляют собой правильные по форме и известные всем фигуры.

Так, в 1657 г. профессор математики Каспар Шотт издал трактат по оптике, где, между прочим, привел ряд рисунков-анаморфоз и показал, как с помощью кривых



Рис. 169. Анаморфоза бабочки.

зеркал можно получить отражение их в виде правильных фигур. В трактате особенно интересными были анаморфозы для конических зеркал. Например, некоторое непонятное сочетание линий на периферических участках (рис. 169) в коническом зеркале, поставленном в центре рисунка, создает изображение красивой бабочки, видимое сверху. На рис. 170 слева приведен рисунок-анаморфоза, дающая в коническом зеркале изображение ножниц, а справа — анаморфоза, позволяющая в цилиндрическом зеркале видеть изображение клоуна.

Профессор К. Шотт, приводя анаморфозы, не мог изложить геометрическую теорию их образования. Только в результате развития оптики и начертательной геометрии

*) «Анаморфоза» — греческое слово; искаженный, неправильный рисунок, представляющийся правильным, например, при отражении в выпуклом зеркале.

в XIX в. появилась возможность производить теоретический анализ любой анаморфозы и получать их геометрическим построением для любых зеркал.

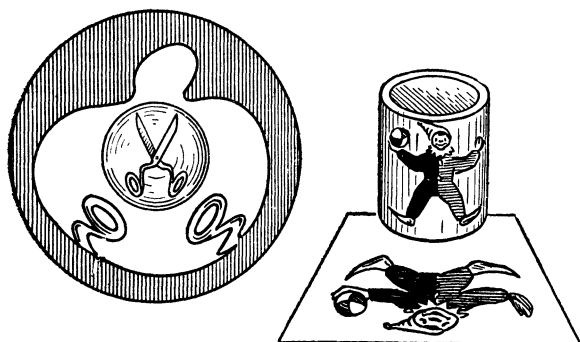


Рис. 170. Анаморфоза ножниц в коническом зеркале (слева) и клоуна в цилиндрическом зеркале (справа).

Так, например, нарисовав окружность несколько большего радиуса, чем радиус зеркального конуса (рис. 171,

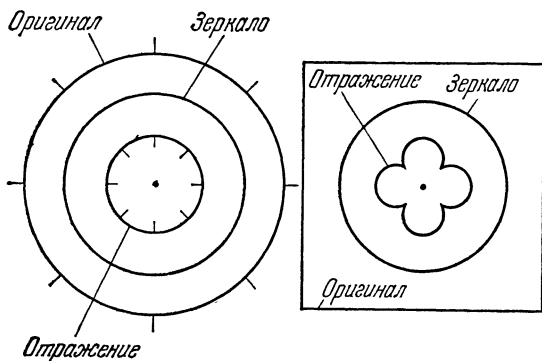


Рис. 171. Анаморфоза круга (слева) и квадрата (справа) в коническом зеркале.

левой), пририсуем к ней извне восемь радиальных отрезков прямых. Поставив на этот рисунок зеркальный конус, мы увидим, что на изображении отрезки прямых будут направлены к центру окружности.

Изображение вывернулось наизнанку, как перчатка. Еще более интересное превращение получит квадрат в

коническом зеркале. В этом случае (рис. 171, правый) каждая из сторон квадрата будет видна как правильная незамкнутая дуга окружности. Прямоугольник и ромб дадут на изображении несимметричные дуги. Если сегменты круга, описывающего квадрат или ромб, окрасить, то и внутренние области дугообразных изображений будут окрашены.

Таким образом, в настоящее время можно, пользуясь известными законами оптики и начертательной геометрии, заранее определить анаморфозу любого графика или фигуры с целью использования этого интересного явления не только для развлечения, но и для практики.



Рис. 172. Пример применения анаморфозной приставки при съемках Большого театра и при демонстрации его изображения на экране.

При съемках широкоэкранных кинофильмов пользуются иногда той же киносъёмочной аппаратурой, что и в обычных условиях. В этом случае с помощью особого оптического прибора — анаморфозной приставки (основой которой является плоско-цилиндрическая линза) — изображение сужается до размеров обычного кадра. При демонстрации фильма (рис. 172) подобная же приставка устанавливается на кинопроекторный аппарат и развертывает кадр по ширине, доводя его до требуемых размеров.

Выпуклые и особенно вогнутые зеркала имеют широкое применение в практике театрального освещения и киносъемок, где в очень многих случаях от формы зеркала зависит форма светового пятна на сцене или на декорации. Из элементарной оптики известно, что выпуклое гиперболическое зеркало является идеальным рассеивателем светового потока.

Получение различных по очертанию пятен возможно благодаря применению именно двухпрофильных зеркал. Так, например, для получения веерообразных пучков лучей, простирающихся в горизонтальной плоскости от 90 до 120° и более и относительно узких в вертикальной плоскости, лучше всего применять параболо-цилиндрические отражатели (см. рис. 168) с софитными или трубчатыми лампами, расположенными вдоль фокальной линии. Для получения горизонтальных или вертикальных полос большой яркости удобнее всего применять параболо-эллиптические отражатели (см. рис. 168).

Для образования еще более сложных форм световых пятен используют специальные линзы или призмы, так как применение любых по форме диафрагм на световых отверстиях приборов прожекторного типа с рефлекторами не может принести желаемых результатов. Таковы особые законы формирования изображения источника света оптической системой этих приборов.

Любую окраску световому пятну или изображению, сформированному кривым зеркалом, можно придать, если между предметом и его изображением в зеркале поместить соответствующий цветной светофильтр.

14. Иллюзии «искусства теней»

Теневой театр. Прямолинейность распространения света — одно из его основных свойств. От каждой точки источника излучений свет распространяется по всем направлениям по прямым линиям. Эти-то линии в геометрической оптике и называют лучами света.

Если же на пути распространения света от источника малых размеров поместить непрозрачный предмет, то появится тень этого предмета, которая в точности или с некоторыми искажениями воспроизведет контуры предмета.

При точечном источнике света конус тени ограничивается линиями, проведенными касательно непрозрачному предмету. Если же источник не может быть принят за точку, например пламя свечи, газоразрядная лампа, шар молочного стекла и т. п., то тень получается более сложной. Каждая точка источника, обращенная к непрозрачному предмету, освещает его, а в некоторых местах лучи за этот предмет вовсе не проникают и там образуется полная тень предмета, в другие же места лучи проникают лишь

отчасти и не от всех точек источника — и там образуется полутень.

Наиболее резко очерченная тень может быть получена в результате освещения предмета точечным источником, т. е. таким, угловые размеры которого весьма малы.

Размеры тени тем больше, чем ближе находится предмет от источника света. Полутень полностью или частично окаймляет тень предмета и будет тем сильнее превосходить тень по своим размерам, чем ближе предмет к источнику света и чем больше размеры последнего по сравнению с размерами предмета.

При освещении предметов рассеянным светом (свет, отраженный от стен и потолка помещения, от небосвода, покрытого облаками, свет от панельных или специально бестеневых светильников) тени могут вовсе отсутствовать или быть незаметными для глаза.

Желание воспроизводить тени тех или иных предметов появилось у человека в очень отдаленные исторические времена и тогда же зародилось «искусство теней».

В ряде стран Востока (Китай, Япония, Индонезия, Индия, Иран, Турция) много веков назад возникли теневые театры, которые процветают и в настоящее время. Трудно сказать, какой из этих театров теперь достиг большего совершенства в художественном и техническом оформлении своих спектаклей, в своей изобретательности и умении создавать многочисленные световые или оптические эффекты и фокусы.

Наибольшей известностью пользуется китайский теневой театр, благодаря чему иногда само искусство теневого театра несправедливо называют «китайскими тенями». Однако об индонезийском и турецком теневых театрах имеются первые упоминания в письменных источниках XI в. Первые упоминания о теневом театре в Европе относятся к XVII в. В Россию во второй половине XVIII в. приезжали на гастроли французские и английские частные, бродячие теневые театры. В XIX и в начале XX вв. у нас изредка в отдельных частных домах или школах устраивались любительские теневые спектакли, но только в 1937 г., при Музее детской книги, у нас был создан профессиональный теневой театр. С момента возникновения и по настоящее время он обслуживает в основном детскую аудиторию.

Современный теневой театр принципиально устраивается следующим образом. Перед зрителями помещается закрытый занавесом светящийся экран из белой материи, бумаги, полотняной или бумажной кальки. Снизу, с боков и сверху экран окаймлен непрозрачными ширмами. На расстоянии одного-двух метров сзади экрана установлен стол, на котором расположены теневые фигуры и детали декораций. Еще далее от экрана помещается проекционный фонарь или просто источник света в фокусе вогнутого зеркала. С помощью этого устройства весь экран должен быть сильно и равномерно освещен направленным пучком лучей. Между столиком и ширмой находятся артисты-теневоды, которые прислоняют к экрану фигуры действующих лиц или сменные элементы декораций и заставляют их двигаться и играть свою роль. Управление действием осуществляется с помощью ниток, палочек или проволок, соединенных с соответствующими деталями фигур.

Для изготовления теневых фигур и декораций в настоящее время имеются широкие возможности применять очень многие, самые разнообразные материалы. Так, например, могут быть использованы различные непрозрачные материалы: картон, тонкая фанера, жемчужная бумага, кожа и ее заменители и т. д.; полупрозрачные цветные и бесцветные материалы: целлофан, различные пластмассы, стекла, трикотажно-текстильные изделия и т. д.

Фигуры для теневого театра могут быть выполнены в виде силуэтов *) — темных на светлом фоне или наоборот, а также темных и частично полупрозрачных цветных плоскостных изображений, нарисованных и вырезанных по контуру.

Кроме того, можно использовать так называемую транспарантную, или теневую, проекцию без оптической системы. В этом случае между источником света и экраном помещается рама с натянутым или укрепленным на ней прозрачным материалом (пленка, холст, стекло), на котором изображены деревья, облака, панорама города, горящие вдали костры и т. д. Будучи освещено направленным светом, это изображение проектируется на экран и может

*) Французское «силуэт» — по имени министра Франции XVIII в. Э. де Силуэта, на которого была нарисована карикатура в виде теневого профиля.

образовать, например, задний план декорации или другие ее элементы. Если транспарантная рама будет перемещаться в сторону, то и изображение на экране будет перемещаться в ту же сторону. Таким образом, можно создать впечатление движения облаков или бегущего ландшафта, наблюдаемого из движущегося поезда, автомобиля и т. п.

При приближении транспаранта к источнику света размеры изображения будут увеличиваться, а при удалении от экрана — уменьшаться. Простейшие световые фигуры можно получить на экране с помощью трафаретов, т. е. пластинок из непрозрачного материала, имеющих вырез по форме фигуры.

«Искусство теней». При современном состоянии техники световой проекции, большом выборе всевозможных непрозрачных, полупрозрачных и прозрачных, цветных и ахроматических материалов в театре теней можно создавать разнообразные иллюзорные впечатления, оптические эффекты и фокусы. Возможности искусства теней очень широки и поэтому здесь будет указано лишь на некоторые видимые на экране эффекты, разгадка возникновения которых скрыта от зрителей.

Тени от действующих лиц и деталей декораций можно показывать в разных масштабах — для этого необходимо изменять расстояние или только между источником света и тенеобразующим предметом, или еще и между экраном и осветительным прибором. Вполне понятно, что если плоский тенеобразующий предмет прислоняется к экрану, то при изменении расстояния между источником света и экраном изменения размеров тени не произойдет.

Изменение масштабов тени широко используется для создания некоторых эффектов.

Так, например, по сюжету детской сказки людоед может превращаться в мышь, т. е. показанная вначале тень фигуры «страшного» людоеда постепенно уменьшается в своих размерах и затем, в некоторый момент времени, простым поворотом фигуры тень людоеда быстро и незаметно подменяется маленькой тенью мыши. Или, например, показав вначале муху, можно подменить ее в известный момент времени новым тенеобразующим предметом и получить... «из мухи слона».

Если тенеобразующий предмет освещать одновременно несколькими направленными пучками света, расположен-

ными рядом друг с другом, то можно получить на экране несколько одинаковых соприкасающихся или рассредоточенных теней (рис. 173). Тенеобразующий предмет желательно в этом случае иметь объемный — в театре, например, получают несколько теней одной и той же танцовщицы. В естественной обстановке несколько теней, падающих в различных направлениях от одного и того же

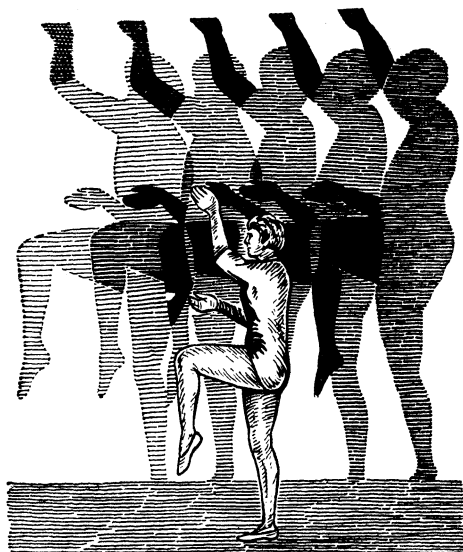


Рис. 173. Многократная тень одной танцовщицы.

предмета, обычно нарушают правильное восприятие этого предмета; в театре же такие многократные тени могут не только создать причудливый декоративный рисунок или изменить сценический объем, но и используются для светового транспаранта, когда с помощью трех фонарей от четырех человек можно получить 12 силуэтов. Весьма нарядную картину могут представить цветные тени. Кроме того, иногда в театре во время монолога того или иного артиста на заднюю стену декорации проектируется тень этого артиста через трафарет, причем положение рук и головы на теневой проекции может не совпадать с дейст-

вительным положением рук и головы актера; иногда тень может играть роль шаржа.

В теневом театре интересно показать некоторые миниатюры, в которых участвуют, с одной стороны, артисты или куклы, а с другой стороны, их тени.

Так, например, на рис. 174 представлено несколько эпизодов боя боксера со своей тенью. Первые два левые положения на рисунке таковы, что тень соответствует положению бойца, но... неожиданно для зрителя происходит смена тенеобразующей фигуры за экраном и тень...

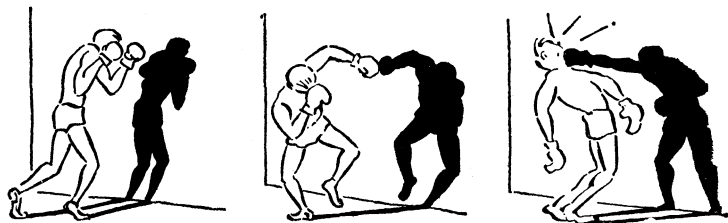


Рис. 174. Забавный бой боксера со своей тенью.

наносит сильный поражающий удар бойцу (правый рисунок). Несколько подобных иллюзионных положений вызовут смех у зрителей и вместе с тем могут оказаться загадочными для непосвященных.

Внезапное появление и исчезновение тени можно легко получить, если между осветительным прибором и экраном на расстоянии 3—4 м внезапно вносится тенеобразующий предмет или в это пространство прыгает сверху актер, изображающий «прыжок с неба». Обратное движение трафарета или актера через прибор (от зрителя) дает впечатление полета вверх или появления «из-под земли».

Тень на сцене может появляться и исчезать, если, например, получать ее на тюлевом или кисейном занавесе, подвешенном так, что имеется свободное пространство и перед ним и за ним. Тень на занавес может отбрасываться со стороны зрителей от трафарета, и если хорошо освещать пространство перед занавесом, тень не будет видна, если же будет освещаться пространство за занавесом, тень можно видеть.

Одной из замечательных особенностей теневого театра является возможность быстрой и легкой смены картин.

Мгновенное превращение тени одного предмета в тень другого можно осуществить простым поворотом двойной фигуры на угол 90° .

Так, например, если перед экраном находится в данный момент силуэт женщины, то перпендикулярно этому силуэту и экрану должен находиться силуэт другого действующего лица, жестко связанный с женским силуэтом.

Простой поворот этих силуэтов на 90° даст возможность одну тень заменить другой. Таким же точно способом легко получить поворот тени из проекции анфас в проекцию того же действующего лица в профиль и наоборот, как это показано на рис. 175. При этом поворот в любую сторону выполняется совершенно одинаково.

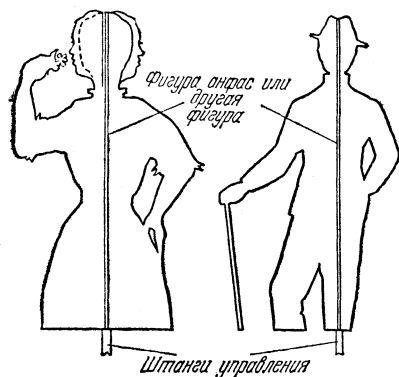


Рис. 175. Поворот фигуры в тене-вом театре из положения анфас в положение профиль.

Иногда бывает, что ка-кая-нибудь деталь или предмет, который должен вдруг появиться в руках у действующего лица на

экране, встраивается в самую действующую фигуру, и простое движение нити или рейки вводит в действие этот новый тенеобразующий элемент. У силуэта дракона, льва, волка или медведя могут внезапно появиться светящиеся огненные, как раскаленные уголья, глаза — для этого достаточно убрать с глаз силуэта затеняющие ширмочки.

С помощью заряжающейся электростатически специальной трехслойной светочувствительной пленки теперь получают рельефные тени. Эта пленка имеет тонкий, прозрачный и нейтральный в электрическом и фотографическом отношении первый слой. Второй слой — прозрачная пленка из окиси олова, обладающая электро- и фотопроводимостью; местное сопротивление пленки зависит от освещенности. Третий слой — прозрачная подложка — служит механической основой и для теплоотвода от первых двух слоев. Вся пленка термопластическая: размягчается от тепла и затвердевает при понижении температуры. Перед записью изображения на пленку она равномерно

электрически заряжается в темноте положительным зарядом при тихом электрическом разряде. Когда на пленке получается изображение, ионный заряд более светлых участков уменьшается сильнее; темные участки за короткое время экспозиции не успевают потерять заряд.

Затем пленка нагревается импульсами постоянного тока и заряженные участки пленки притягиваются к подложке, а незаряженные остаются на прежнем уровне. Возникает микрорельеф. Плоская, ровная и сравнительно жесткая подложка не дает пленке деформироваться с обеих сторон. Если теперь изображение, полученное на пленке, спроектировать на экран, можно получить рельефную тень удивительной чистоты и четкости.

Вслед за искусством теней исторически (и на более высоком техническом уровне) идет искусство световой проекции.

15. Иллюзии световой проекции

Принцип световой проекции. Впервые принцип световой проекции упоминается в произведениях францисканского монаха Р. Бекона, умершего в 1294 г. Практическое применение этот принцип находит только в средние века, когда иезуитский патер А. Кирхер в 1640 г. описывает «волшебный фонарь» (*laterna magica*) в своей книге «Великое искусство света и теней». Оказывается, не случайно служители церкви интересовались «искусством света и теней»; они применяли его для организации «чудес божьих», появления призраков и духов. Долгое время волшебные фонари использовались для религиозно-мистических демонстраций. Так, например, физик и воздухоплаватель Робертсон в конце XVIII в. давал представление «вызывания духов» для широкой публики (рис. 176).

В качестве экрана, на котором появлялось изображение, использовалась тонкая кисея, задрапированная черными ширмами и незаметная для зрителей. Появившееся изображение на кисее то увеличивалось, как бы приближаясь к зрителям, то уменьшалось с помощью бесшумного и незаметного перемещения проекционного аппарата.

Ящик волшебного фонаря и столик, на котором он стоял, окрашивались черной краской и были невидимы на фоне черного бархата, обтягивающего ширмы.

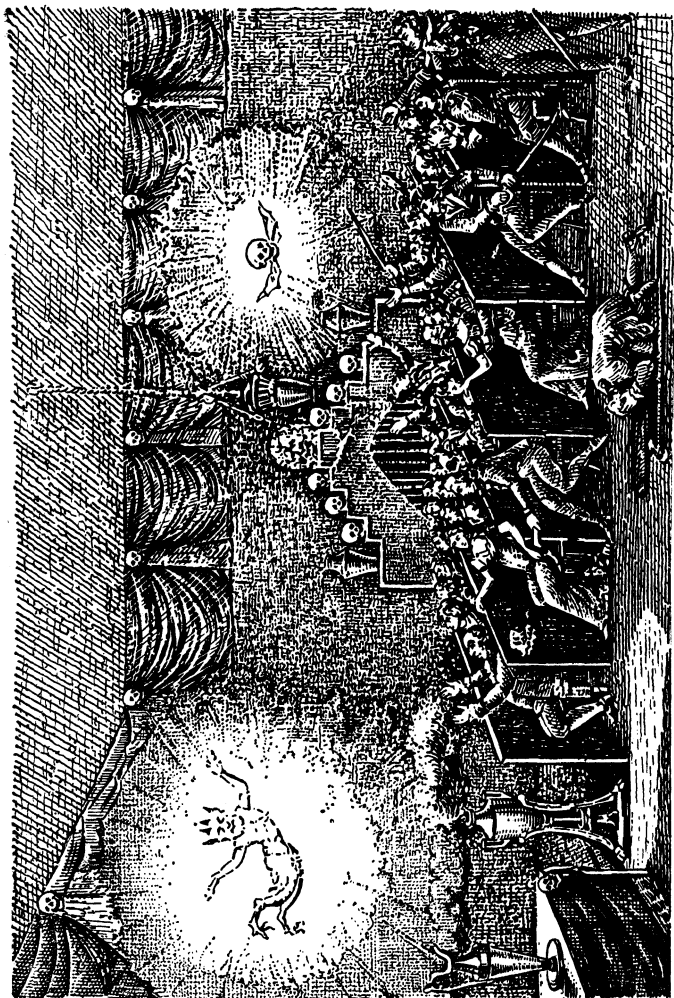


Рис. 176. Демонстрации Робертсоном в 1737 г. появления духов и призраков с помощью «волшебного фонаря».

Демонстрация сопровождалась громом, грохотом, соответствующими случаю, выкриками и вспышками света в полной темноте, что все, вместе взятое, вселяло в зрителей суеверный страх.

Характерно, однако, что еще в XVII в. великий чешский педагог Ян Коменский в своих трудах, описывая устройство «волшебного фонаря», указывает на большую полезность использования его в школах.

Появившиеся впервые в XV—XVI вв. проекционные аппараты — «волшебные фонари» — в течение трех веков

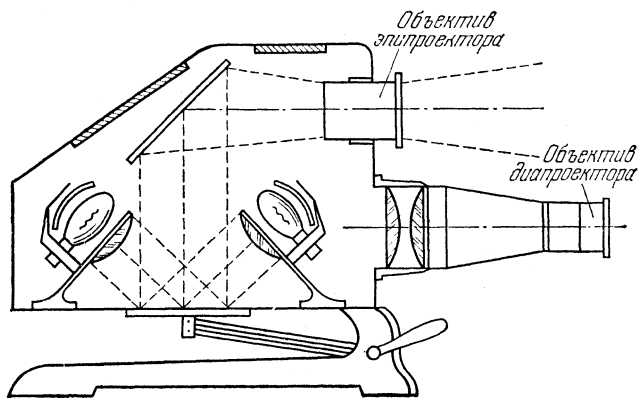


Рис. 177. Принцип устройства современного проекционного фонаря (эпидиаскопа).

не могли быть усовершенствованы из-за отсутствия соответствующих источников света. В первых фонарях в качестве источника света использовали масляные горелки и свечи, яркость пламени которых мала, а следовательно, спроектированное на небольшое расстояние изображение могло быть отчетливо видимым только в темноте.

С появлением в XIX в. электрических источников света, сначала в виде дуговых ламп, затем простых и, наконец, специальных ламп накаливания, проекционные аппараты были значительно усовершенствованы.

В настоящее время различают два вида световой проекции: диа- и эпипроекция, т. е. проекции прозрачных и непрозрачных предметов. Соответственно с этим существуют три типа проекционных аппаратов: диаскопы, эпископы и эпидиаскопы (рис. 177), т. е. приборы для обоих видов проекции.

Наиболее широкое применение для создания различных световых эффектов в театрах и других зрелищных предприятиях теперь имеют диаскопические проекционные аппараты.

Принцип их устройства заключается в следующем. Световой поток проекционной лампы накаливания, имеющей концентрическое расположение нити, при помощи небольшого вогнутого сферического зеркала, установленного так, что его центр кривизны совмещен с телом накала лампы, направляется на двух- или трехлинзовый конденсор диапроектора (рис. 177). Конденсор концентрирует падающий на него световой поток источника, создавая равномерное и сильное освещение так называемого кадрового окна, совмещенного с фокальной плоскостью объектива диапроектора.

Между конденсором и объективом и помещается прозрачный диапозитив, нарисованный или полученный фотографическим методом на стекле (силикатном или органическом), на ацетатной пленке или слюде.

Эффективные проекционные устройства. Наряду с простейшими проекционными аппаратами в настоящее время

Рис. 178. Прожектор-пистолет типа ПР-300М.

в театрах применяются так называемые проекционные прожекторы. Например, прожектор-пистолет типа ПР-300М (рис. 178), предназначенный для освещения на сцене отдельных актеров или деталей декорации узким, легко перемещающимся пучком света; устанавливая в основании тубуса диапозитивы, можно спроектировать на декорацию различные изображения. Для этого, например, изготавливается специальный проекционный прожектор типа ПРП-1, к которому на световое отверстие устанавливается приставка длиннофокусная ПД-440, обеспечивающая возможность получать узкие пучки света или проектировать на декорацию диапозитив размером $10 \times 10 \text{ см}^2$ (изображение его на расстоянии в 25 м будет иметь радиус 2,8 м).

Кроме того, устанавливается эффективная приставка типа ПРЭ-1 (рис. 179), предназначенная для получения на декорации в динамике различных световых эффектов (движущиеся облака, падающий дождь или снег, пылающий пожар и т. д.), изображение которых выполнено определенным образом на стеклянном диске — диапозитиве. Корпус приставки представляет собой круглую металлическую разборную коробку, внутри которой вращается стеклянный диск — диапозитив.

На передней крышке корпуса установлена съемная коробка скоростей с приводным двигателем. Над коробкой скоростей в корпусе приставки имеется сквозное квадратное окно, через которое проходит световой пучок проекционного прожектора и просвечивает вращающийся диапозитив. Наконец, к этому же прожектору (типа ПРП-1) придается проекционная приставка типа ПП-2, предназначенная для получения на декорациях динамической световой проекции движущихся волн.

С помощью проекционных приборов можно получить на декорациях изображение звездного неба, движущейся луны, закат или восход солнца. Наиболее интересные зрительные впечатления получают с помощью эффективной приставки.

Кроме указанных выше эффектов, такая приставка позволяет получить динамическую проекцию водопада, ледохода, действующего вулкана, огней фейерверка или праздничного салюта, видимых издали в небе спускающихся парашютистов, движущиеся ракеты и др.

Устройство, позволяющее регулировать скорость вращения диапозитива, дает возможность показывать медленно плывущие облака (менее 1 об/мин) или быстро падающий снег или дождь с ветром (от 1 до 5 или 10 об/мин).

Одновременное применение двух проекционных приборов дает возможность быстро изменять характер

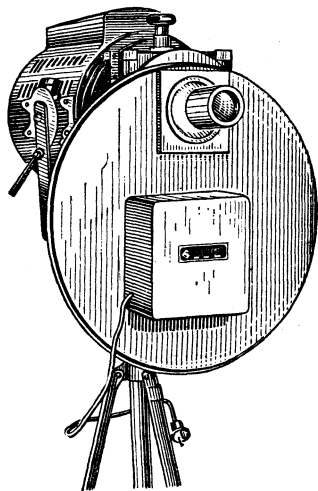


Рис. 179. Эффектная приставка типа ПРЭ-1 для создания различных световых эффектов на сцене.

движущихся облаков или получать прямой и косой дождь при появлении ветра и т. д. — для этого необходимо своевременно выключить один проекционный аппарат и включить второй с диапозитивным диском, имеющим уже другое изображение или другой характер просвечиваемых отверстий.

Дело в том, что диски эффективной приставки могут быть трафаретными, когда для создания впечатления, например, падающего снега непрозрачный диск имеет иглообразные сквозные вырезы или вырезы в виде хлопьев снега. Ясно, что в первом случае диск должен вращаться быстрее — тогда создается впечатление падения резкого снега с дождем и ветром; во втором случае диск вращается медленно и создается видимость порхающих крупных снежных хлопьев. Кроме того, диск может быть прозрачный диапозитивный, когда на нем нанесено, например, изображение редких кучевых облаков, движущихся на фоне голубого неба, и т. п.

Два-три проекционных аппарата с эффективными дисками, имеющими цветные отверстия различной формы и движущиеся с различными скоростями, позволяют создать фантастическое впечатление.

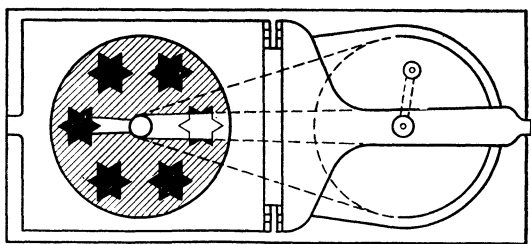


Рис. 180. Простейший проекционный хромаскоп.

Таким способом получают сказочно прекрасные пейзажи подводного царства, которыми любитесь Садко; звезды и облака в сцене «Иванушка в гостях у Месяца» («Конек Горбунок») и т. д.

Простейшим устройством, позволяющим наблюдать подвижные красочные фигуры, является давно известный проекционный хромаскоп (рис. 180).

В этом случае на экране появляется светящийся круг с системой пестрых светящихся линий, переплетенных одна

с другой. Линии — в виде лучей, бегущих от центра к периферии освещенного поля, где они так же таинственно исчезают, как и появляются.

Эти замечательные эффекты требуют поразительно простого устройства самого прибора.

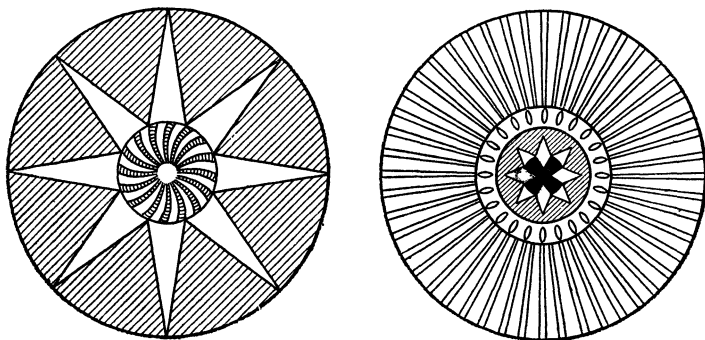


Рис. 181. Диски хромаскопа.

В проекционный фонарь вместо диапозитивов помещаются стеклянные круглые диски с пестрыми рисунками, наподобие представленных на рис. 181. Два таких диска располагаются друг перед другом, перекрывая один другой, и приводятся во вращение при помощи рукоятки и двух бесконечных шнуров. Благодаря перекрещиванию одного из шнуров (рис. 182) диски вращаются в разные стороны.

Прозрачные диски таким путем приходят в различные положения друг относительно друга и на экране появляются различные комбинации фигур, имеющие сходство с изображением в калейдоскопе, но еще более пленительные вследствие их постепенного перехода друг в друга.

«Волшебный фонарь» здесь нужен для того, чтобы увеличить изображение и сделать его видимым с возможной ясностью на удобной поверхности.

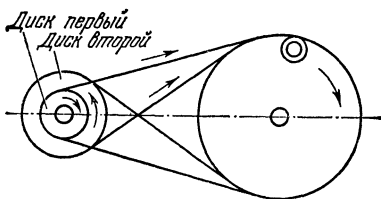


Рис. 182. Привод дисков хромаскопа во вращение в противоположные стороны.

Проекционная приставка ПД-440 к прожектору РРП-1 имеет оптическую систему, позволяющую проектировать изображения диапозитивов на расстояние до 25 м. Однако известен ряд случаев, когда с рекламными целями трафарет или диапозитив с помощью дополнительных оптических устройств, установленных на мощном дуговом прожекторе, проектировался на облако (рис. 183). На облаке можно получать короткие слова, составленные из отдельных световых пятен от нескольких плоских зеркал, развернутых под соответствующими углами и освещенных лучом мощного дугового прожектора. Такие надписи не могут удерживаться на облаке в одном и том же положении длительное время, так как по мере движения облака и изменения его экранной способности надписи размываются и отдельные буквы становятся невидны.

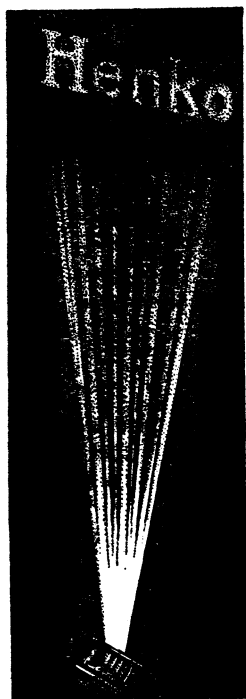


Рис. 183. Пример демонстрации световой проекции на облаке.

Во время первой мировой войны 1914—1918 гг. в русских религиозных журналах писали, что нашим воинам в окопах в рождественскую ночь было видение на облаках богоматери с младенцем. В действительности это «видение» могло быть организовано, если к одному из прожекторов соорудили соответствующую приставку.

Эффектная приставка к проекционному аппарату может быть выполнена и в виде вертикальной цилиндрической стенки барабана из органического стекла или диапозитивной пленки. Цилиндр должен вращаться так, чтобы его стенки все время находились в промежутке между конденсором и объективом.

Чудесную игру, вызываемую сменой цветных орнаментов, можно наблюдать, если к обычному калейдоскопу пристроить проекционную систему. Простой калейдоскоп, описанный выше, имеет тот недостаток, что им может поль-

162

зоваться только один человек. Если собрать оптическую систему по схеме рис. 184, то можно получить на экране, стене или потолке увеличенное изображение различных узоров и орнаментов. Три плоских зеркала размером 400×60 мм² соединяются в трехгранную призму, обращенную зеркальными поверхностями внутрь призмы. Снаружи призма обклеивается плотной бумагой, скрепляющей зеркала друг с другом. С одной стороны от призмы устанавливается камера, состоящая из двух стеклянных дисков

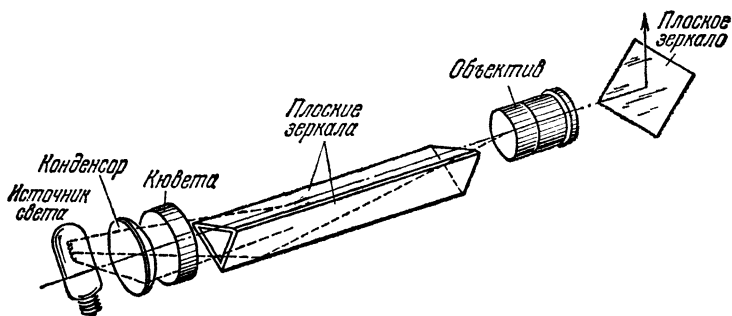


Рис. 184. Калейдоскоп для всех (принципиальная оптическая схема).

диаметром 75 мм. Один диск должен быть изготовлен из матового или молочного стекла, а другой из прозрачного стекла. Диски жестко соединяются с цилиндрической оправой, которая имеет ширину порядка 15 мм и выполнена из металла, а между дисками помещаются кусочки цветных шелковых нитей, птичьих перьев, бусинки, цветные палочки и т. п. После этого камера (кювета) закрепляется так, чтобы она могла вращаться от электродвигателя, и помещается между зеркальной призмой и конденсором, причем к последнему обращена сторона с матированным стеклом, а к зеркальной призме — прозрачным. Левее конденсора (см. рис. 184) помещается кинопроекционная лампа (300—500 вт), так чтобы конденсор обеспечивал сильное и равномерное освещение матового стекла камеры. Справа от зеркальной призмы устанавливается проекционный объектив, и если предполагается получать изображение на потолке или боковой стене, то еще и плоское зеркало. Быстро сменяющиеся цветные узоры могут быть получены в результате медленного

вращения одной лишь камеры с цветными стеклами — ее оправа закрепляется между тремя вращающимися роликами, один из которых может приводиться во вращение, например, от патефонного моторчика.

Скорость вращения камеры не должна быть более 1—2 об/мин. Вероятность появления однообразных орнаментных рисунков будет весьма мала, а частота смены рисунков будет зависеть от скорости вращения камеры и легкости перемещения кусочков цветного стекла внутри нее.

Проекционная техника в кинотеатрах. Современная проекционная техника наиболее полно демонстрирует свои возможности в кинотеатрах. Если лет 35 тому назад имелась возможность демонстрировать только черно-белые немые фильмы, то вслед за появлением звуковых фильмов стали изготавливать и демонстрировать цветные.

Техника цветного фотографирования быстро совершенствовалась, и в настоящее время благодаря использованию многослойной пленки кинозритель уже может видеть на экране почти всю палитру природных цветов и красок. Специалисты занимаются разработкой некоторых тонкостей и нюансов цветовоспроизведения и цветопередачи.

Еще в 30-х годах в СССР были разработаны аппаратура и методы демонстрации кинофильмов при дневном освещении — «дневное кино».

Известны два принципа дневной проекции: «на просвет» и «на отражение». Дневные экраны «на просвет» изготавливают из матированного стекла, механического или химического травления, пластикатной хлорвиниловой пленки или шелка, обработанного прозрачным лаком. Установки дневной проекции «на просвет» являются наиболее простыми для монтажа и широко используются для торговой рекламы.

Дневной экран «на отражение» защищают от света, помещая его в шахту из черного сукна или фанерных листов, окрашенных черной матовой краской. Глубина шахты в светлых помещениях должна быть не менее двойной ширины экрана. В некоторых случаях в дневных экранах «на отражение» используют зеркала, расположенные по схеме, показанной на рис. 185.

В начале 30-х годов на одном и том же экране в качестве аттракциона демонстрировали два немых фильма от двух проекционных аппаратов. Перед объективами проекторов

устанавливали по два поляроида*) и поворачивали их друг относительно друга так, чтобы один проектор посылал на экран лучи, поляризованные в горизонтальной, а другой — в вертикальной плоскостях.

Один из фильмов был виден тем зрителям, которые имели очки с поляроидами, пропускающими лучи, поляризованные в горизонтальной плоскости, а другой — виден зрителям через поляроидные очки, пропускающие вертикально поляризованные лучи.

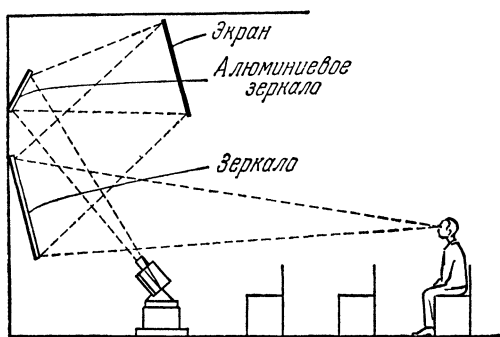


Рис. 185. Дневное кино с зеркалами по принципу «на отражение».

В результате длительных упорных поисков советских изобретателей в СССР была успешно разрешена проблема стереоскопической проекции.

Сначала стереофильмы, снятые с помощью двух объективов так, что каждый кадр представлял собой стереопару, зрители должны были рассматривать через специальные очки. Эти очки в некоторых случаях были цветными и соединяли на экране два цветных изображения в одно стереоскопическое, но черно-белое. Иногда в качестве очков использовали поляроиды — из «очковых» способов стереопроекции это был самый совершенный.

Основной недостаток этих способов стереоскопической проекции состоял в применении неудобных очков, поэтому разрабатывался новый способ, основанный на разделении стереоскопических изображений для обоих глаз у самого экрана. Именно эти, так называемые растровые

*) Поляриод — пластинка или пленка, пропускающая поляризованные световые лучи.

способы стереопроекции впервые в мире нашли свое решение в СССР.

Сначала был применен стереоэкран со светопоглощающим перспективным растром. В качестве элемента этого растра использовались тонкие теньевые полоски (до 2000 штук), образованные натянутой в определенном направлении проволокой. На экран проектировали одновременно два изображения, предназначенные соответ-

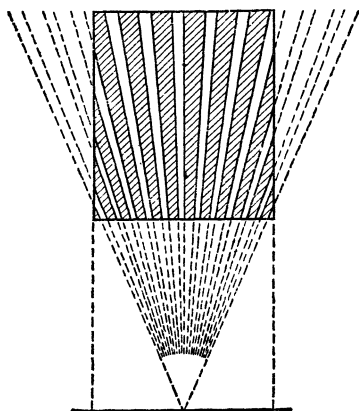


Рис. 186. Полосатый растровый экран для стереокинематографа.

ственно для правого и для левого глаза, и зритель (при определенном положении глаз) видел правым глазом все полоски правого изображения, а левым — левого. Правое изображение не мешало левому глазу, так как закрыто от него светопоглощающими полосками растра, то же имело место и для правого глаза. Проволоки растра имели внизу точку схода для того, чтобы при наличии перспективы объемное видение обеспечивалось для всех зрителей.

На рис. 186 условно в перспективе показано несколько пар фокальных зон этого растрового экрана.

Чтобы избежать больших потерь светового потока за счет поглощения его черными полосками растрового экрана, велись разработки линзового перспективного стереоэкрана. Этот экран (рис. 187) состоял целиком из прозрачных плоско-конических линз, расположенных в перспективном порядке и обращенных к зрителям плоскими сторонами. При проектировании на экран двух изображений (стереопары) каждая линза дает два изображения — для правого и левого глаза. Неподвижно сидящие зрители видят объемное изображение. Существенным недостатком растрового метода проекции стереокино являлось пребывание зрителя в неподвижном состоянии во время всего сеанса, а также то, что не достигалось хорошего отделения изображений и происходили большие потери светового потока на экранах.

Дальнейшее усовершенствование кинематографа привело к созданию широкоэкранный стереофонического кинотеатра. В этом случае экран, вогнутый по дуге, соответствовал горизонтальному углу зрения порядка 80° (вместо 37° в обычном кинематографе), благодаря чему обеспечивалась некоторая панорамность изображения; четырехканальная система записи и воспроизведения звука способствовала более естественному восприятию зрительного и слухового образа.

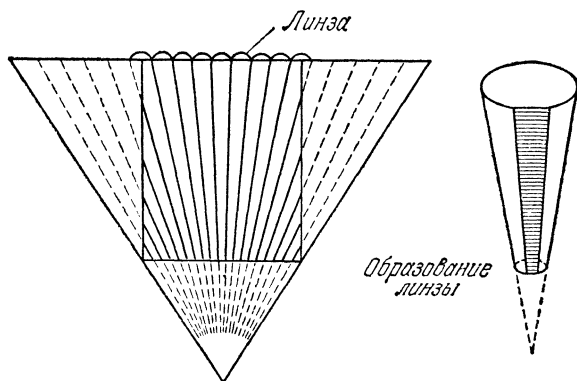


Рис. 187. Линзовый растровый экран для стереокинематографа.

Наивысшим достижением современной кинотехники является создание панорамного кинотеатра, идея которого с 1900 г. привлекала внимание специалистов кинотехники, так как система кинопанорамы больше всего соответствует природе человеческого зрения и слуха. Максимальная естественность достигается здесь прежде всего тем, что панорамный экран, изогнутый по дуге окружности, стягиваемой горизонтальным углом зрения в 146° , имеет правую и левую границу вне пределов ясного поля зрения. Зритель без напряжения следит за киноизображением, поворачивая голову и устремляя взгляд в направлении того объекта на экране, который в данный момент больше всего привлекает его внимание.

Далее известно, что периферическое зрение помогает нам ощущать эффект глубины пространства и точно

ориентироваться в данной обстановке. Панорамный экран вынуждает зрителя пользоваться периферическим зрением и за счет этого достигается стереоскопический эффект — восприятие зрителем глубины изображения. Правда, этот эффект глубины здесь заметно слабее, чем в существующих системах стереокино, но зато он имеет место при отсутствии сложного растрового экрана и при обычной технологии киносъемки, когда фильм не должен состоять из кадров-стереопар, а к зрителю не предъявляется требование оставаться неподвижным.

Наконец, в панорамном кинотеатре достигается эффект пространственного звучания, т. е. в процессе демонстрации фильма звук слышится из той точки, где находится звучащий объект.

Благодаря всем указанным выше обстоятельствам в панорамном кинотеатре у зрителя создается такое впечатление, будто он находится не в кинозале, а присутствует там, где разворачивается действие фильма.

Панорамные фильмы почти физически втягивают зрителя в действие, происходящее на экране. Зритель, например, чувствует себя сидящим в автомобиле, который мчится по шоссе, а справа и слева мелькают местные предметы, меняется видимый ландшафт; зритель может чувствовать себя летящим в самолете и т. д.

Этот эффект, свойственный панорамному кинематографу, называют «эффектом присутствия».

Приведем здесь краткое объяснение, какими техническими средствами и приемами достигается панорамность и стереоскопичность киноизображения и стереофоническое воспроизводство звука. Конечно, все это достигается особыми приемами киносъемки и кинопроекции.

Съемка панорамных фильмов осуществляется тремя киносъемочными аппаратами, объективы которых имеют горизонтальный угол зрения 50° и снимают каждый свою часть изображения на отдельную киноплёнку (рис. 188, слева).

Панорамная кинопроекция осуществляется в свою очередь тремя кинопроекторами, установленными относительно экрана так, как показано на рис. 188, справа.

Звук в панорамных кинофильмах записывается помногочанальной системе в виде нескольких (7 или 9) фонограмм, из которых пять предназначены для воспроизведения звука заэкранными громкоговорителями, а остальные

используются для эффективного звучания с помощью громкоговорителей, расположенных в зрительном зале, — этим и обеспечивается стереофоничность. Магнитофоны для воспроизведения звука синхронно и синфазно связаны с проекторами панорамной киноустановки.

Во Франции построен кинотеатр («Гераклорама»), в котором на растровый цилиндрический экран с углом охвата 180° при помощи одного специального объектива

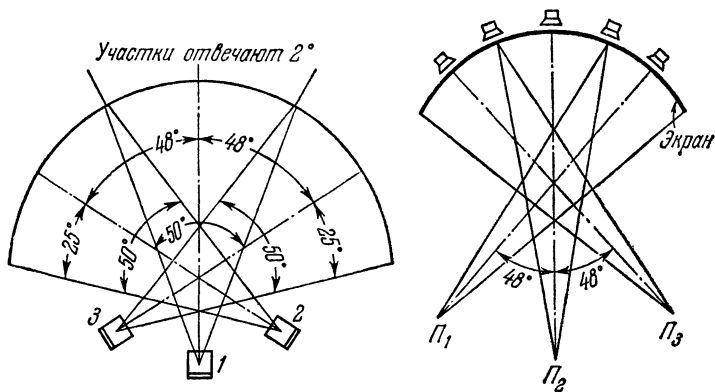


Рис. 188. Принцип панорамного кино.

проектируются панорамные кинофильмы. При этом рельефность изображения такова, что «эффект присутствия» проявляется весьма убедительно.

На Всемирной выставке в Брюсселе в 1958 г. в павильоне Чехословакии было установлено особое проекционное устройство, разработанное в экспериментальной студии чехословацкого фильма «Латерна магика» («Волшебный фонарь»). Это была первая интересная попытка создания оригинального театрально-кинематографического представления. В конце 1959 г. «Латерна магика» приезжала на гастроли в Москву и Ленинград. В чем же заключается это необычное представление?

Несколько кинопроекторов дают изображение сразу на двух, трех, четырех и более экранах различной изменяющейся формы и величины. Одновременно на сцене перед экранами разворачивается театральное действие. Эффект такого зрелища заключается в переключении сценического

представления в заснятый на пленку фильм: актер, «входящий» в экран и «выходящий» из него на сцену; конференсье, ведущий беседу со своими кинодвойниками; танцор, который может свое собственное изображение или изображение своей партнерши в кинокадре с помощью небольшого переносного экрана поднять над головой и пронести через сцену. Одна и та же девушка ведет сама с собой разговор на трех языках; юноша, стоящий на сцене под зонтиком, открывает зрителям свои мысли посредством соответствующих событий, изображаемых на нескольких экранах.

Вся эта оригинальная выдумка, в которой ее изобретатели проявили богатую фантазию и тонкий художественный вкус, свидетельствует о необычайно широких возможностях современной техники световой проекции в создании чудесных зрительных иллюзий.

Многим известно еще одно сложное и весьма оригинальное устройство, где несколько десятков проекционных систем (более 90), действующих определенными группами в сочетании со сложными приводными механизмами, дают нам возможность слушать множество разнообразных, хорошо оснащенных наглядными демонстрациями лекций по астрономии: о космосе, о Вселенной и т.д. Это устройство (рис. 189) называется планетарием; оно устанавливается в центре круглого или многоугольного помещения, и экраном для световой проекции в этом случае служит полусферический купол, закрывающий весь потолок помещения и имитирующий небесный свод. Прибор после установки ориентируется относительно стран света для данного географического пункта. Вертикальная ось прибора является полярной осью, перпендикулярной земному экватору, горизонтальная ось является осью географической широты, а ось, проходящая через сферические головки прибора с проекционными аппаратами, является эклиптической осью, перпендикулярной земной орбите.

Проекционные системы позволяют получать на купольном экране изображения всех планет солнечной системы с их спутниками в различных фазах их обращения, общую картину звездного неба для различных земных широт и т. д.

Приводные механизмы с соответствующими электродвигателями перемещают указанные выше изображения

планет по небесному своду в соответствии с их периодом обращения (сутки, год и т. д.).

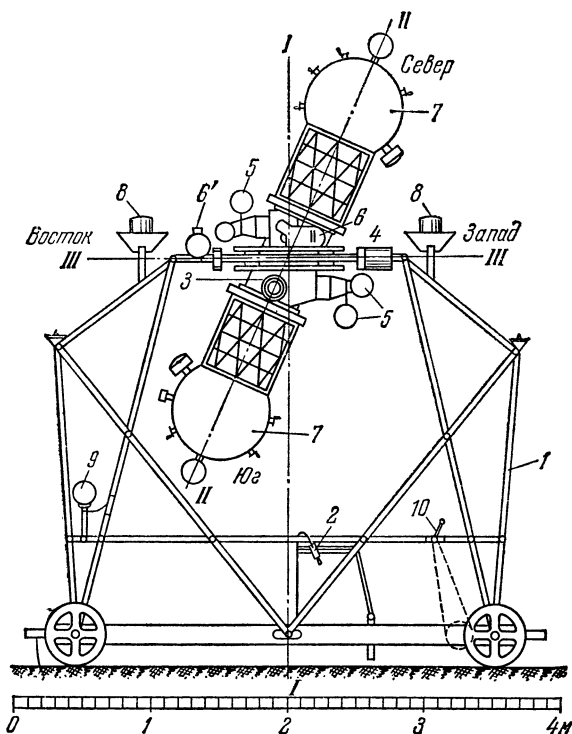


Рис. 189. Главный проекционный аппарат планетария фирмы «Цейс» (ГДР).

I—I— полярная ось, перпендикулярная земному экватору; **II—II**— эклиптическая ось, перпендикулярная земной орбите; **III—III**— горизонтальная ось для переменной географической широты; **1**— тележка основания; **2**— электорубильник; **3**— средняя часть приводного устройства; **4**— горизонтальная ось полярной перестройки; **6**— два мотора дневного хода (1 день в 4 мин или в 1 мин 50 сек); **6**— три мотора годичного хода (1 год в 4 мин, в 1 мин 50 сек и в 6 сек); **6'**— мотор гироскопического движения Земли (26000 лет в 4 мин); **7**— северный и южный шары, содержащие по 16 проекторов; **8**— специальные осветители; **9**— переносный проектор; **10**— рукоятка цепной передачи для малых перемещений тележки.

Первый в СССР Московский планетарий, имеющий диаметр купола 25 м, открыт 5 ноября 1929 г. и его уже посетили десятки миллионов слушателей астрономических, антирелигиозных и прочих лекций.

16. Иллюзии, возникающие при полном внутреннем отражении света

Светящиеся фонтаны. Явление полного внутреннего отражения наступает в тех случаях, когда луч света, выходящий из среды, оптически более плотной (с бóльшим показателем преломления) и входящий в среду, оптически менее плотную ($n' < n$), на поверхность раздела сред MP падает под некоторым предельным углом i_m (рис. 190).

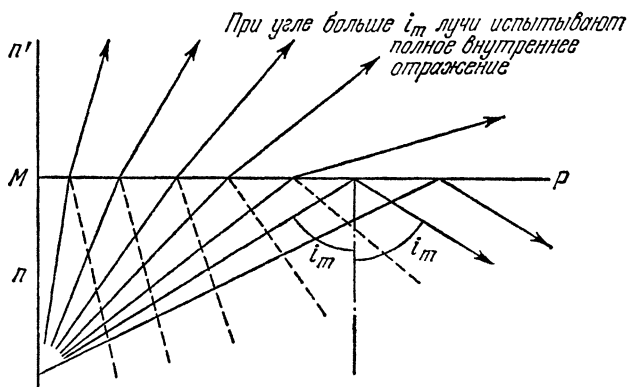


Рис. 190. Пояснение явления полного внутреннего отражения.

Этот предельный угол меньше 90° и зависит только от отношения показателей преломления сред. Так, например, если луч выходит в воздух из стекла с показателем преломления $n=1,5$, предельный угол i_m — около 42° ; при $n=1,66$ (тяжелое стекло) угол i_m — около 37° ; при выходе луча из воды ($n=1,33$) в воздух предельный угол равен 49° ; те же самые соотношения имеют место и для органического стекла, и для прозрачных пластмасс.

Явление полного внутреннего отражения используют для придания особого блеска алмазам. На этом же явлении основано красивое зрелище — так называемые светящиеся фонтаны. Впервые светящийся фонтан был устроен в 1841 г. швейцарским профессором физики Колладоном; в его демонстрациях струя воды формировалась с помощью специальных стенных мундштуков и могла иметь различные сечения.

Если струю воды с помощью сильного источника света, световой поток которого будет концентрироваться некоторой оптической системой (вогнутым зеркалом или линзой), освещать в месте ее истечения так, чтобы лучи света падали на поверхность воды под очень незначительным углом (т. е. почти параллельно струе), то, претерпевая многократные полные внутренние отражения, лучи не выходят за пределы струи. Вследствие неровностей поверхности струи часть светового потока все-таки рассеивается

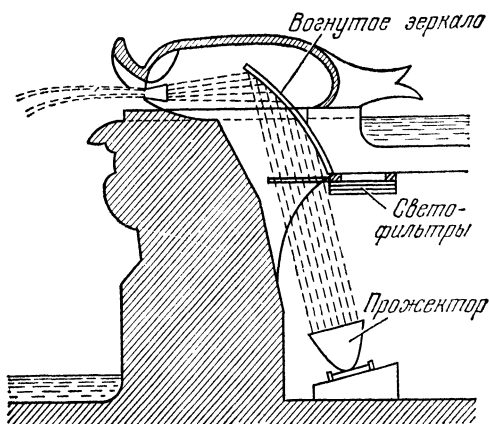


Рис. 191. Схема устройства светящегося фонтана «Дельфин».

и выходит из нее, поэтому фонтан кажется светящимся или, точнее, самосветящимся, так как источник света зрителям не виден. В том месте, где струя из горизонтального положения переходит в вертикальное или наоборот, лучи доходят до ее наружной поверхности, снова возвращаются внутрь, идут к поверхности струи в новом месте, опять отражаются и т. д. Полный выход световой поток получает только там, где струя теряет свою связность и распадается на капли.

Первое применение принцип светящегося фонтана нашел в Парижской опере, где красным светом освещалась струя вина, которую Мефистофель заставляет течь из бочки во втором действии «Фауста».

На рис. 191 представлена одна из схем устройства светящегося фонтана. В этом случае извергающий воду дельфин

сделан пустотелым и его нижняя часть сообщается отверстием с подвалом, устроенным под бассейном. Здесь внизу стоит дуговая лампа, лучи которой отбрасываются параболическим зеркалом в тело дельфина, а отсюда вторым зеркалом отражаются в рожок водяной струи. Между зеркалами на пути световых лучей расположено приспособление, служащее для вдвигания на путь световых лучей разноцветных стеклянных кругов (светофильтров), окрашивающих воду фонтана в желаемый цвет.

Впервые массовое применение светящихся фонтанов имело место на Парижской выставке в 1889 г., где было устроено 66 вертикальных светящихся фонтанов и 14 вытекающих горизонтальных ключей с 300 освещаемыми соплами трубок. Все управление фонтанами и их окраской было сосредоточено на выставке в одном месте и производилось с помощью электродвигателей и электромагнитов, включаемых электротехником, которому были видны все фонтаны и который легко мог достигать желаемых сочетаний и контрастов в их окраске.

Позднее с помощью ламп накаливания с окрашенными колбами устраивали домашние, комнатные светящиеся фонтаны самых различных форм и декоративного назначения.

В настоящее время свойство светящихся фонтанов широко используется в театральной практике для создания различных сценических эффектов. Так, например, в одной из картин пьесы Н. Погодина «Третья патетическая» весьма правдоподобно изображается цех большого металлургического завода. Струя льющегося металла здесь не что иное, как струя воды, освещенная сильным источником света через красный фильтр. Раскаленные брызги металла — всего-навсего разбрызгиваемая вентилятором вода из светящегося фонтана. Вся производственная обстановка в этой сцене создана при помощи соответствующих световых и звуковых эффектов.

В современных оптических приборах широко используются призмы полного внутреннего отражения, которые являются наиболее совершенными зеркалами вследствие малых потерь светового потока на поглощение в оптическом стекле. Простая прямоугольная призма полного внутреннего отражения (рис. 192, а) отражает под углом 90° (или 180°) все лучи, падающие на ее грани, образующие прямой угол; причем падающий и отраженный лучи

будут лежать в одной плоскости. Если же изготовить прямоугольную призму как срез одного из трехгранных прямых углов куба (рис. 192, б), то она будет отражать всякий падающий на нее луч к источнику, независимо от направления падения.

Действующую таким образом призму можно получить и более простым способом, если склеить три плоских зеркала так, чтобы их зеркальные поверхности образовали

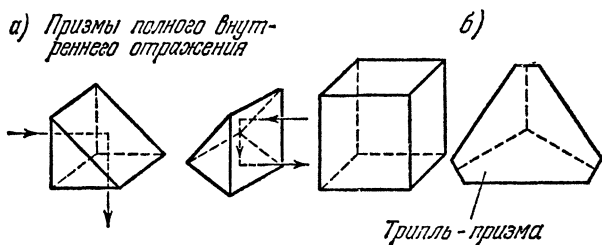


Рис. 192. Призмы полного внутреннего отражения и тригль-призма.

трехгранный прямой угол. Такие призмы носят название тригль-призм и могут использоваться для световой сигнализации.

Например, во время первой мировой войны наборы таких отражающих призм были предложены для целей мореплавания. Флагманский корабль обследует горизонт прожектором (пониженной интенсивности, чтобы не сделать корабли вообще видимыми). Лучи, отраженные кубическими зеркалами, будут видны только с флагманского корабля, так как они возвращаются назад в том же направлении независимо от расположения зеркал.

Следует заметить, что, если плоское зеркало поворачивать на некоторый угол, изображение в нем будет смещаться. Если же вращать перед собой тройное зеркало, то изображение будет «стоять на месте», т. е. оставаться неподвижным.

Для световой сигнализации это устройство применяется еще следующим образом. На одном пункте помещается прожектор, на другом — тройное зеркало. Связь может осуществляться как днем, так и ночью и притом передача сигналов может происходить в обе стороны, т. е. от прожектора к зеркалу и обратно.

Луч прожектора, упавший на тройное зеркало, отражается обратно, и человек, передающий сигнал, его увидит. Этот луч увидит и тот, кто находится около тройного зеркала. Когда сигнал от прожектора к зеркалу будет передан, луч прожектора оставляют неподвижным, и наблюдатель, находящийся у тройного зеркала, периодическим экранированием последнего или прерыванием луча будет вызывать сверкание тройного зеркала, видимое от прожектора и воспринимаемое как ответный сигнал.

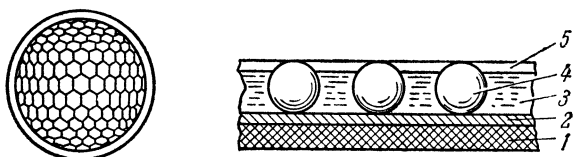


Рис. 193. Катафот из стекла (слева) и катафот из стеклянных шариков, наклеенных на фольгу (справа). 1 — фольга; 2 — бесцветный синтетический лак; 3 — синтетический прозрачный лак; 4 — шарики; 5 — бесцветный или цветной синтетический лак.

Известны устройства, состоящие из множества мелких, прилегающих друг к другу элементов, действующих по принципу полного внутреннего отражения светового потока, под общим названием катафоты*). Эти последние находят широкое применение в различных видах транспорта. Например, на защитном козырьке заднего колеса велосипеда устанавливается круглое, красное, рифленое стекло (рис. 193, слева), которое отражает свет фар автомобиля обратно и позволяет шоферу видеть ночью, что впереди его по дороге движется велосипедист (красная стоп-линза). Группа таких прямоугольных, треугольных и круглых цветных стекол, закрепленных в определенном порядке на вертикальном щите, установленном на обочине шоссе, может образовать тот или иной дорожный знак — поворот шоссе, ж.-д. переезд и т. п. Такой дорожный знак будет светиться ночью, отражая свет автомобильных фар движущихся по шоссе машин, и будет виден ничуть не хуже, чем днем.

*) «Катафоты» — греческое — отражатели света назад к источнику.

Цветные катафоты изготавливаются из стекла или плексигласа путем прессовки их в формах; они могут не обладать высокой оптической точностью, но должны быть дешевы и доступны для массового применения.

На речных бакенах и различных других навигационных и дорожных знаках с успехом могут применяться простейшие катафотные устройства из алюминиевой фольги (рис. 193, справа) с закрепленными между слоями прозрачного синтетического лака стеклянными шариками диаметром 0,09 — 1,4 мм; число шариков доходит до 50 на 1 мм². Лучи света, падающие на эту фольгу, преломляются и отражаются в пределах плоского угла около 80°, и бакен с такой фольгой прекрасно виден в результате эффективного отражения светового потока корабельного прожектора или фары.

Светящаяся фольга в отличие от других типов катафотов не требует ремонта и тщательного ухода.

Световоды и волоконная оптика. Одновременно с появлением первых светящихся фонтанов стало известно, что не только струя воды, но и изогнутый сплошной стеклянный стержень проводит вдоль всей своей длины световой поток с относительно малыми потерями на поглощение и рассеяние. Первое время (а иногда и теперь) такие стеклянные стержни называли светопроводами или световодами (по аналогии с волноводами коротких радиоволн).

Один из известных пионеров электрического освещения, замечательный русский электротехник-изобретатель, основатель и первый редактор журнала «Электричество» В. Н. Чиколев в 1877 г. для освещения цехов Охтенского порохового завода в Петербурге применил своеобразную систему светопроводов и назвал ее «системой канализации электрического света». Установка непосредственно в цехах дуговых ламп была недопустима ввиду возможности воспламенения и взрыва пороховой пыли. Поэтому дуговая лампа предельно большой мощности, достигнутой в то время, была установлена во дворе завода, и ее световой поток с помощью труб из светлой жести направлялся внутрь помещений. Для подвода светового потока к рабочим местам служили установленные под углом в 45° плоские зеркала, в центральной части которых отражающая амальгама отсутствовала (рис. 194), а на выходных отверстиях устанавливались линзовые рефракторы (преломлятели) световых лучей. Позднее подобное же устройство

В. Н. Чиколев предложил для освещения широкой театральной рампы при помощи одной установленной в центре сцены электрической свечи П. Н. Яблочкова.

В дальнейшем, особенно для освещения взрывоопасных помещений, было предложено множество систем светопроводов, подобных чиколевским, но лишь незначительная часть из них нашла практическое применение.

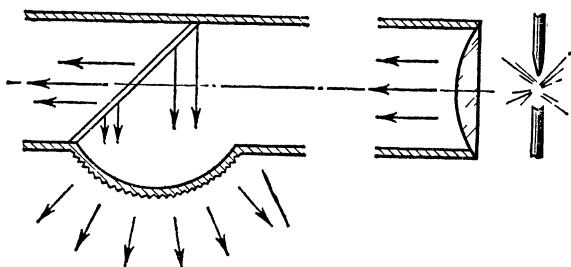


Рис. 194. «Система канализации электрического света» В. Н. Чиколева.

Одной из интересных областей применения светопроводов в настоящее время является приборостроение. Здесь для освещения шкал приборов, индексов, контрольных окон и т. п. широко используются светопроводы из стекла, плексигласа и различных прозрачных пластмасс. Изгиб светопроводов из стекла и плексигласа, имеющих показатель преломления 1,48 — 1,5, для получения более эффективного их действия должен соответствовать условиям, указанным на рис. 195. Так, радиус изгиба светопровода должен быть больше его двойной толщины, а при изгибе пластины под углом последний должен быть 48° или меньше. Необходимо, чтобы на сгибах не нарушалось условие полного внутреннего отражения.

Для освещения шкал приборов можно использовать светопровод, изогнутый в кольцо, диаметром несколько большим, чем диаметр шкалы. Такой светопровод и лампочку накаливания, освещающую его, обычно искусно прячут за оправой шкалы. Для освещения внутренних полостей приборов или сосудов, где недопустима непосредственная установка электрических источников света или

необходимо особое распределение светового потока, применяют светопроводы из прозрачных материалов, подобных показанному на рис. 196.

При освещении индексов, марок и других различных знаков на приборах могут встретиться три варианта преломления и отражения света одиночными призмами.

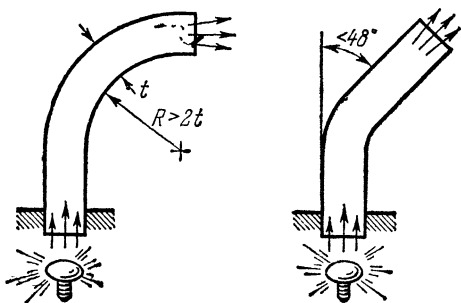


Рис. 195. Условия изгиба светопровода из стекла и плексигласа.

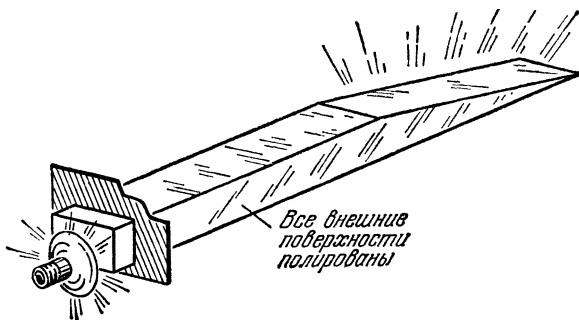


Рис. 196. Возможный способ освещения шкалы прибора.

Если угол, образованный гранью призмы с горизонтальной плоскостью (рис. 197,а), будет меньше $42,2^\circ$, то световые лучи, падающие на призму, преломляются ею и освещают плоскость под призмой. Если угол между гранью призмы и плоскостью будет заключен в пределах между $42,2^\circ$ и $45,9^\circ$, то световые лучи будут отражаться призмой по направлению падения этих лучей (рис. 197,б), и призма будет казаться светящейся. Если же угол между призмой

и горизонтальной плоскостью будет находиться в пределах от $45,9^\circ$ до 74° (рис. 197,в), то лучи будут преломляться призмой и освещать плоскость перед призмой, сама же призма будет казаться темной.

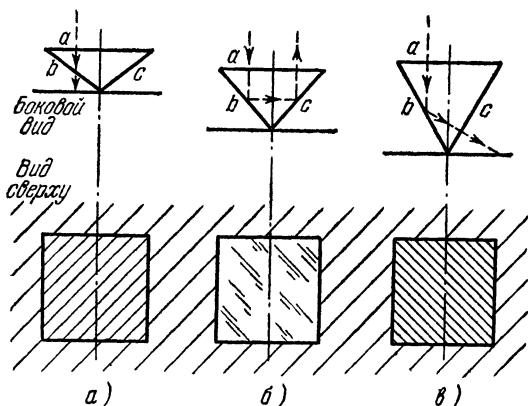


Рис. 197. Освещение участка поверхности при распределении света призмами.

а) освещение под призмой; б) отсутствие освещения под призмой; в) освещение за пределами призмы.

Заметим, что увеличение толщины светопровода около источника света позволяет получить наибольший световой поток, выходящий из светопровода (рис. 198). Поэтому,

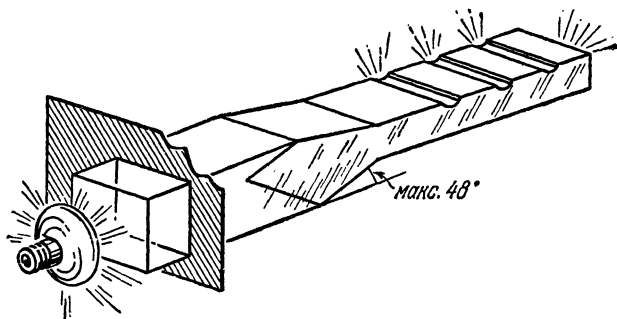


Рис. 198. Рациональный светопровод.

когда светопровод на участке выхода светового потока должен иметь малое сечение, вблизи к источнику света сечение светопровода, воспринимающее падающий поток,

стремятся увеличить (рис. 199). Заметим также, что если поверхность светопровода сделать шероховатой или умышленно покрыть узорами, то весь световой поток будет рассеиваться и поглощаться на небольшом удалении от источника (рис. 200,а), а при наличии тех же узоров, но находящихся внутри светопровода с полированными поверхностями световой поток будет проходить по светопроводу на большее расстояние от источника (рис. 200,б).

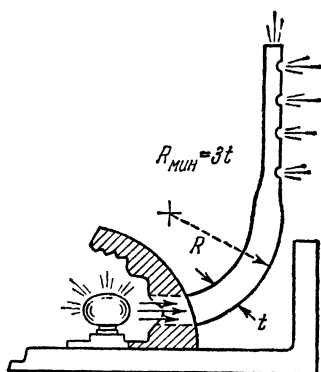


Рис. 199. Расширение светопровода для падающего на него светового потока.

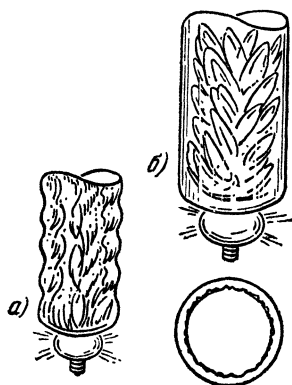


Рис. 200. Выполнение декоративного светопровода: неправильное (а) и правильное (б).

Представляет интерес устройство в виде экрана, на котором мгновенно появляются различные рисунки.

Так, например, сначала видна пустая хрустальная ваза, затем вдруг она наполняется фруктами, затем ваза и ее подставка украшаются цветами и т. д.

Для получения этой иллюзии взяты плоские, прозрачные стекла, образующие общий пакет, на каждом из этих стекол методом травления или гальванического полупрозрачного покрытия нанесен рисунок. Сначала через щелевую диафрагму снизу (или через две диафрагмы, снизу и сверху) освещается торец переднего стекла и на нем становится видно изображение вазы, затем через расширившуюся щелевую диафрагму освещаются торцы двух передних стекол — в вазе появляются фрукты — и, наконец, через еще более широкую диафрагму освещаются три стекла и т. д.

Совершенно необычное, иллюзорное действие производит явление полного внутреннего отражения света в устройствах волоконной оптики. Эта новая область оптической техники позволяет достигнуть оригинальных и порой очень значительных результатов не только в передаче на расстояние светового потока, но также и оптических изображений. В волоконной оптике в качестве световодов используются пучки тончайших нитей, выполненных из стекла или прозрачной пластмассы. Диаметр одной нити выбирается в пределах от 50 до 5 мкм. Для сравнения заметим, что средний диаметр волоса человека равен 60 мкм (0,06 мм). Волокна диаметром в 5 мкм, очевидно, близки к нижнему пределу, потому что при диаметре, равном длине световой волны, они перестают пропускать свет посредством полного внутреннего отражения и действуют подобно волноводу, применяемому в радиотехнических устройствах. В этом случае имеет место значительная утечка световой энергии, что в конечном счете приводит к искажению передаваемого изображения.

Пучки волокон, образующие световод, состоят из плотно прилегающих друг к другу стеклянных нитей без воздушной прослойки между ними. Чтобы исключить возможность перехода света из одного волокна в соседнее, каждое волокно выполняется двухслойным. Внутренняя часть волокна изготавливается из материала с большим показателем преломления, а внешнее покрытие из стекла или пластмассы — с меньшим показателем преломления. Если пучок из оптических волокон набран так, что волокна на его концах размещены совершенно одинаково, его называют «когерентным» — это значит, что разность фаз колебаний за время наблюдений сохраняется неизменной. Когерентные пучки обладают наиболее ценными оптическими свойствами, однако сборка их производится вручную, а это сильно увеличивает стоимость световодов.

Хаотическое же расположение оптических волокон в пучке в значительной степени снижает эффективность применения волоконной оптики. Количество волокон, образующих квадратный пучок (рис. 201) со сторонами в 5 см при диаметре волокон 5 мкм, порядка ста миллионов штук. Для образования прочного монолитного пучка с торцов волокна сплавляют.

В зависимости от технических требований светопровод может давать либо рассеянный пучок света, либо пучок, сконцентрированный в малом телесном угле. Схема работы волоконного светопровода такова. Световой поток от мощного источника света (солнце, дуговая лампа) (рис. 202) концентрируется на входном коническом торце (1) волоконного световода и из него попадает в световод (2), по которому и подводится в заданную точку.

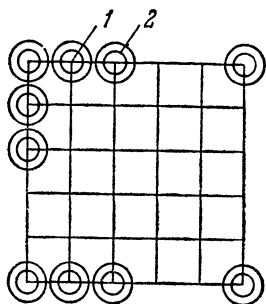


Рис. 201. Пучок волокон светопровода.

1 — внутренняя часть волокна с показателем преломления n_1 ; 2 — внешняя часть волокна с показателем преломления $n_2 < n_1$.

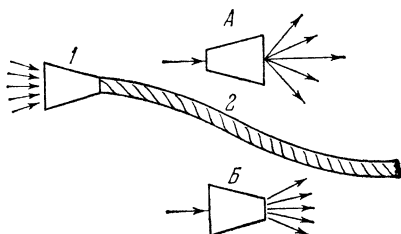


Рис. 202. Схема работы волоконного светопровода.

1 — светоприемник; 2 — пучок волокон; А — концентрация света на выходе; В — рассеяние света на выходе.

Выходной торец световода (2) может иметь головку широкого (А) или концентрированного (В) светораспределения.

В настоящее время находят применение волоконные световоды длиной 6—7 м при прямоугольном сечении со стороной 1—3 см. Кроме того, изготавливаются сплавные волоконные пластины толщиной до 10 мм и диаметром 12—20 см. Размеры изделий волоконной оптики ограничены, во-первых, сложностью изготовления и, во-вторых, характером физических процессов, происходящих в оптических волокнах. Дело в том, что чем длиннее волокно, тем больше потери света. Любое стекло не обладает абсолютной прозрачностью; кроме того, в стекле имеются деформации, микроскопические трещины и пузырьки, из-за чего нарушаются условия полного внутреннего отражения, — свет попадает на соседние волокна и рассеивается там.

Разрешающая способность волоконной оптики определяется диаметром волокон и она тем больше, чем тоньше волокно.

Пучок волокон не допускает многократных изгибов из-за возможности обрыва большого числа нитей. В промышленных образцах изделий из волоконной оптики пучок нитей заключается в твердую оболочку, обычно из гофрированного металла, ограничивающего подвижность пучка. Отдельные волокна, образующие пучок, смазываются специальным составом, уменьшающим трение между ними, что позволяет сделать пучок достаточно гибким.

Световоды из указанных выше материалов хорошо пропускают лучистую энергию волн длиной от 0,4 до 2,5 *мкм*, т. е. лучи видимого света и инфракрасные.

Ультрафиолетовые лучи через волоконную оптику не проходят.

Устройства, содержащие волоконные оптические системы, уже теперь имеют довольно широкое применение.

Наиболее широкое распространение получили электронно-лучевые трубки с экранами из оптических волокон. Применение такого экрана позволяет значительно повысить разрешающую способность, яркость и четкость изображения. Применение волоконной оптики позволяет осуществить передачу 85—90% световой энергии.

Пучки волоконной оптики — «фиберскопы» (от слов: фибер — пучок, скопия — видеть, рассматривать) — нашли применение в медицине. С помощью тонкого, диаметром меньше сантиметра, фиберскопа оказалось возможным проводить визуальные исследования различных полостей тела человека. Желудочный зонд из оптических волокон устроен так, что половина волокон служит световодом для освещения полости желудка, а другая половина волокон, не освещаемая извне, передает изображение внутренней полости желудка. Фиберскопы применяют для контроля и осмотра трудно доступных частей различных механизмов. Так (по материалам иностранной печати) был сконструирован зонд для дистанционной проверки «горячего» ядерного реактора. Плоская лента фиберскопа длиной 2,7 *м* состояла из 5 слоев, каждый шириной 7,5 *см*. Три слоя служили для освещения внутренней полости реактора, а по двум остальным свет поступал к наблюдателю. Разрешающая способность такого зонда 0,05 *мм*. В ядерных же исследованиях нашли применение волокна,

светящиеся под действием удара элементарных частиц или воздействия радиоактивных излучений.

Камера, содержащая такие волокна из специальной пластмассы и фотоумножители на выходных концах волокон, позволяла улавливать очень слабое свечение, которое другим способом зарегистрировать не удавалось.

Волоконная оптика используется для индикаторов радиолокационных станций, что позволяет вдвое и более увеличить разрешающую способность индикаторов и уменьшить их вес и габариты.

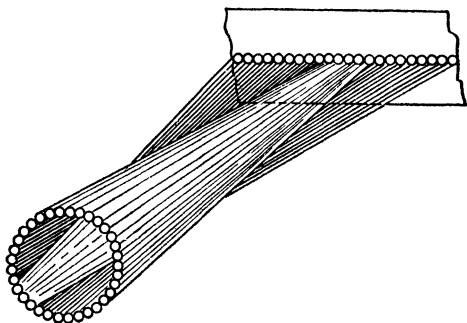


Рис. 203. Шифрующая и дешифрующая части волоконного светопровода.

Интересно использование волоконной оптики для кодирования или шифрования различных сообщений. Если волокна в пучке будут не параллельны, изображение, передаваемое на другой конец фиберскопа, исказится настолько, что доступными методами восстановить его будет невозможно. Чтобы расшифровать сигнал, нужно в дешифраторе установить фиберскоп, у которого закон переплетения волокон будет таким же, как и в шифраторе. Если волокна, образующие пучок, расположить так, как показано на рис. 203, то изображение, принятое в одной форме, можно преобразовать в более удобную для записи или считывания. Конвертер из волоконной оптики преобразует прямоугольное изображение в линейное или круглое.

Волоконная оптика все шире начинает применяться в вычислительной технике, где весьма эффективно вместо низкочастотных электрических импульсов могут исполь-

зоваться импульсы света, идущие по световоду, а запоминающим устройством может служить электронно-лучевая трубка с экраном из волокон. Использование генераторов света типа лазеров и волоконной оптики позволяет значительно повысить скорость работы и объем памяти вычислительной машины: так, длительность импульса лазера с волоконной оптикой около 0,5 мксек.

Большое значение волоконная оптика может иметь для космической связи и навигации.

17. Иллюзии, связанные с явлениями люминесценции

«Холодный свет». Очень много чудесных и удивительных явлений позволяет наблюдать современная техника люминесценции, или опыты, связанные с получением так называемого «холодного света».

Явления холодного свечения наблюдаются в следующих случаях:

хемилюминесценция — свечение, сопровождающее в лаборатории некоторые химические реакции, свечение в природе живых организмов или гниющих органических веществ (светлячки-черви, гнилушки, скопления особых бактерий, морские растения и рыбы и т. п.);

кристаллолюминесценция — свечение в момент кристаллизации (жидкое стекло в момент затвердевания и др.);

триболюминесценция — свечение при трении, разломе и раздавливании (сахар, соли урана и т. д.);

термолюминесценция — свечение при слабом нагревании или сильном охлаждении (алмаз, мрамор, урановая соль в жидком воздухе и т. д.);

электролюминесценция — свечение разреженных газов при прохождении через них электрического тока (например, аргон светится голубым, неон — оранжевым, гелий — розовым, а пары ртути — белым светом, в котором особенно сильно развиты синяя, зеленая и желтая части спектра);

катодоллюминесценция — свечение твердых тел и, в частности, кристаллических порошков под действием потока быстрых электронов;

рентгенолюминесценция — свечение веществ под действием рентгеновских лучей.

Наконец, представляющая большой интерес с точки зрения оптических иллюзий **фотолюминесценция**, т. е.

свечение тел, вызванное их облучением ультрафиолетовыми, видимыми и инфракрасными лучами. Этот вид люминесцентного свечения подразделяется на фосфоресценцию, когда свечение продолжается и после прекращения возбуждения лучистой энергией, и флуоресценцию, когда свечение вещества исчезает с прекращением возбуждения.

Фосфоресцирующие вещества известны уже несколько столетий, однако промышленное получение этих особых неорганических составов, которые иногда называют кристаллическими или минеральными фосфорами, началось в 70-х годах прошлого столетия.

В настоящее время различают светящиеся составы временного и постоянного действия.

В первом случае свечение имеет место после прекращения облучения лишь непродолжительное время (от нескольких минут до нескольких часов).

Во втором случае свечение обусловлено радиоактивным распадом и излучением альфа-, бета- и гамма-лучей, возбуждающих длительное свечение внутри состава. Свечение под воздействием лучей радиоактивного распада иногда называется радиoluminesценцией.

Светящиеся составы постоянного действия имеют в настоящее время ограниченное применение вследствие высокой стоимости радиоактивных материалов.

Наибольшее значение в современной технике приобрели люминесцирующие составы временного действия, называемые кристаллофосфорами. Они изготавливаются обычно из трех компонентов: основного вещества, активатора и плавней. По типу основного вещества светосоставы разделяются на два класса: цинковые и щелочноземельные.

В первом случае основным материалом является сернистый цинк, во втором — сернистый кальций или сернистый кадмий. В качестве активатора вводят ничтожные примеси меди, серебра или марганца в первом случае и висмута — во втором. В качестве плавней применяют легкоплавкие соли лития, калия и натрия, которые не усиливают свечения, но для его возникновения их присутствие необходимо.

Основными характеристиками люминесценции являются: спектральный состав излучений, длительность послесвечения, характер его затухания и, наконец, общий выход свечения.

Светосоставы цинковой группы обладают свойством более яркого свечения, но сравнительно малой продолжительностью, а светосоставы щелочноземельные имеют меньшую яркость, но их послесвечение может продолжаться в течение многих часов.

Кроме кристаллофосфоров находят применение флуоресцирующие органические красители. Они не обладают остаточным свечением и могут применяться только вместе с возбуждающими их источниками ультрафиолетового света. Растворенные в воде, эти красители способны окрашивать в самые разнообразные цвета белые ткани и бумагу,

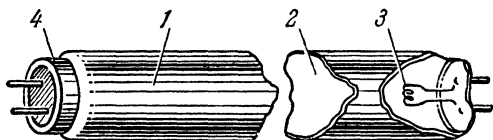


Рис. 204. Трубочатая люминесцентная лампа низкого давления.

1 — стеклянная трубка; 2 — внутренняя стенка трубки, покрытая люминофором; 3 — вольфрамовая спираль-катод; 4 — цоколь.

не нарушая их эластичности. Окрашиваемая ткань приобретает наибольшую яркость лишь при некоторых оптимальных концентрациях красителя.

В настоящее время явления фосфоресценции, флуоресценции и др. имеют широкое практическое применение, например в люминесцентных источниках света, в люминесцентном анализе и дефектоскопии, при действии экранов и пленок различных электронно-лучевых трубок и приборов, в живописи (станковой, театральной, архитектурной), в аварийном, рекламном и декоративном освещении.

Применения «холодного света». Наиболее широко для целей освещения применяются трубчатые ртутные лампы низкого давления (около 0,01 мм рт. ст.) с нанесенным на внутренние стенки трубок светосоставом (люминофором), известные под названием люминесцентных ламп (рис. 204). Электрический ток, протекая между электродами лампы, вызывает разряд в парах ртути и аргона, наполняющих трубку.

Удивительная оптическая иллюзия в данном случае состоит в том, что внутри трубки... темно. Там еле брезжит слабое голубовато-синее свечение столба тихого разряда в парах ртути. Ультрафиолетовые лучи, составляющие 60% излучений разряда (электролюминесценция) против 2% видимых излучений, преобразуются частично слоем люминофора (флуоресценция), отложенным на внутренние стенки трубки, в видимое излучение. В этом случае трансформация излучения происходит в соответствии с законом Стокса, т. е. коротковолновое излучение преобразуется в длинноволновое. Световая отдача лучших образцов люминесцентных ламп составляет 70 лм/вт , тогда как световая отдача ламп накаливания не достигает и 15 лм/вт ; срок службы люминесцентных трубок может быть в 5 раз больше, чем срок службы ламп накаливания (1000 час).

Другой разновидностью источников света с применением светосоставов являются ртутнодуговые лампы высокого давления типа ДРЛ. Эти лампы сочетают достоинства трубчатых люминесцентных ламп низкого давления — высокую световую отдачу с возможностью сосредоточить в относительно небольшом объеме значительную световую мощность.

Лампа ДРЛ (рис. 205) представляет собой кварцевую трубку — капилляр (2), заполненную парами ртути под высоким давлением (5—10 атм) и заключенную в эллипсоидную колбу из термостойкого стекла (1), покрытую изнутри слоем люминофора. Лампа снабжается резьбовым цоколем.

Возможность трансформации невидимых (ультрафиолетовых, рентгеновских и т. д.) лучей в видимые световые излучения широко используется теперь в ряде областей для люминесцентного анализа (химическая, металлообрабатывающая и пищевая промышленность, медицина, биология, криминалистика и т. д.). Возбуждая люминесцентное

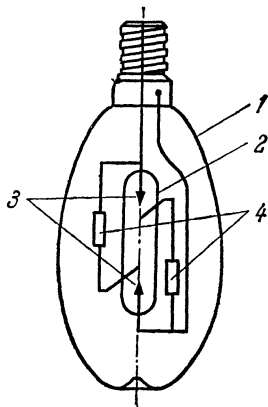


Рис. 205. Ртутнодуговая лампа высокого давления типа ДРЛ.

1 — эллипсоидная колба лампы, покрытая изнутри люминофором; 2 — кварцевый капилляр; 3 — основные электроды лампы; 4 — вспомогательные электроды для зажигания лампы.

свечение того или иного вещества различными излучениями, исследуют чистоту продуктов, обнаруживая в них ничтожные, но очень важные для производства примеси. При поисках полезных ископаемых люминесцентный анализ служит методом определения состава горных пород. В химической промышленности он используется для установления качества исходного сырья, в металлообрабатывающей промышленности люминесцентная дефектоскопия служит для обнаружения поверхностных трещин и других изъянов в изделиях. В криминалистике по свечению незаметных в обычном свете пятен может быть определена их природа и происхождение, могут быть обнаружены незаметные надписи и подделки документов.

Огромное значение имеет люминесцентный анализ в биологии и медицине, где с его помощью изучают структуры тканей, наблюдают жизнь и поведение микроорганизмов и т. д.

В современной технике весьма широкое применение получают люминесцирующие экраны для электронно-лучевых приборов (электронно-лучевые трубки для катодных осциллографов, электронных микроскопов, для радиолокации и телевидения), а также экраны для обнаружения невидимых излучений (рентгеновские лучи, γ -, α - и β -лучи и инфракрасные лучи).

Заметим, что телевизионные экраны делают из люминофоров, затухающих очень быстро после прекращения возбуждения. В каждый данный момент светится лишь небольшой участок строки, описываемой электронным лучом. Однако глаз человека сохраняет полученное световое впечатление в течение 0,1 сек.

Движущийся электронный луч в течение $1/25$ сек вычерчивает на экране 625 строк, которые полностью покрывают поверхность экрана. Точки экрана, возбуждаемые импульсами с интервалами меньше $1/25$ сек, создадут в глазе устойчивое световое впечатление. Весь экран будет казаться светящимся, хотя в каждый данный момент возбуждается только малый участок его поверхности. Вследствие большего или меньшего ослабления электронного луча на экране появятся темные и более светлые места передаваемого изображения.

Для фотографирования объектов на больших расстояниях в инфракрасных лучах применяются люминофоры с малой продолжительностью послесвечения. При этом для

получения фотографических изображений удобнее применять люминофор не зеленого, а фиолетового свечения в виде вольфрамо-кислого кальция.

В приборах ночного видения применяются люминофоры с длительным послесвечением. Наличие инфракрасных излучений обнаруживается с помощью специальных приборов — электронно-оптических преобразователей (ЭОП).

Это сложные вакуумные приборы, в простейшем случае имеющие вид разрядной трубки с катодом, который под воздействием падающих на него инфракрасных лучей испускает заряженные частицы (фотокатод). Когда на фотокатод с помощью объектива создается изображение в инфракрасных лучах, то отделившиеся от его поверхности электроны ускоряются электрическим полем. Поток электронов от отдельных частей фотокатода направляется на отдельные участки люминесцирующего экрана. На экране получается видимое изображение той невидимой картины, которая образуется объективом на фотокатодe.

Так, например, с помощью ЭОП легко можно видеть в темноте все источники инфракрасных излучений (нагретые тела), а также тела, отражающие невидимые инфракрасные лучи, падающие на них от некоторых облучателей.

Светящаяся живопись. Необычайно интересные зрительные иллюзии создаются светящимися составами и красками в современной люминесцентной живописи. Известно, что, пользуясь светящимися красками и ультрафиолетовыми облучателями, можно получить весьма чистые и насыщенные цвета, причем можно осуществить ступени яркостей, меняющихся в сотни раз. Лес, пронизываемый прямыми лучами солнца, когда чередуются яркие солнечные пятна и густая тень под деревьями, или небо с заходящим солнцем или восходящей луной совершенно недоступны живописи, а для люминесцентной они являются вполне реальными пейзажами.

Светящиеся краски дают насыщенные цвета, резкие цветовые и яркостные контрасты.

Отечественная промышленность теперь выпускает «светящиеся акварели», состоящие из набора светосоставов временного действия в количестве 24-х цветов, а также флуоресцирующие краски на крахмальной основе. Первые для нанесения на различные поверхности растворяются

в специальном желатинном составе, изготовленном по особому рецепту. Так, для бумаги и мягких тканей состав должен содержать 60 г пищевого или фото-желатина, 160 г глицерина и 10 см³ 10%-ного раствора тимона на 1000 см³ воды. Если светящиеся краски наносятся на твердые поверхности, глицерина следует брать не 160, а 20 г. Краски на крахмальной основе обладают высокой стойкостью к внешним воздействиям.

Если живопись обычными красками проводится при естественном, дневном освещении, то живопись светящимися красками — при обычном и ультрафиолетовом освещении.

Освещение или, вернее, облучение невидимым «черным светом» люминесцентной живописи при ее выполнении и рассматривании производится с помощью специальных облучателей с ртутно-кварцевыми лампами высокого давления типа ПРК-4 или ПРК-7. Для возбуждения свечения люминесцирующих красок используется ультрафиолетовое излучение длиной волны 320—400 мкм*). Для выделения этой области спектра применяют черный увиолевый светофильтр, перекрывающий световое отверстие облучателя.

Характерной особенностью светящихся красок является то, что они в видимом свете выглядят бело-желтыми порошками. Благодаря этому светящаяся живопись получается как результат трансформации излучений. Например, если этими красками написать зимний пейзаж, на котором при обычном освещении деревья и кусты покрыты хлопьями снега, зимняя дорога слегка выделяется на фоне общего снежного покрова. При включении же ультрафиолетовых облучателей снег начинает светиться зеленым светом, деревья приобретут зеленый покров, а зимняя дорога может превратиться в сияющую голубизной отраженного неба прозрачную речку. Тем самым зимний пейзаж превратится в летний. При известном навыке, изобретательности и творческой фантазии художник может получить разнообразные виды с мгновенной или постепенной сменой рисунка или окраски.

Иногда обычный видимый свет создает яркости, перекрывающие свечение красок. Затем этот свет постепенно ослабляется и становятся видимыми светящиеся краски;

*) 1 мкм (миллимикрон) = 10³ мкм = 10⁹ м.

при этом второй рисунок как бы вытесняет первый. Трансформацию можно производить мгновенно или медленно в прямом или обратном порядке. Еще более эффективна двойная трансформация, когда рисунки построены по типу загадочных картинок: контуры одного рисунка маскируются контурами другого.

При выполнении таких рисунков с двойной трансформацией, но не очень сложных по сюжету можно пользоваться бумажными масками, закрывающими часть первого и повторяющего контуры второго. Светящиеся составы могут распыляться на бумажную маску при ультрафиолетовом облучении. По окончании работы маска снимается и в ней вырезается другой участок рисунка. Проводится снова распыление светящихся красок. В зависимости от сложности рисунка таких масок может быть несколько. Мелкие и тонкие детали рисунка дорабатываются от руки кистью.

Люминесцирующая живопись может быть широко использована для рекламных целей, где могут найти применение как сложные рисунки и большие полотна — панно, так и простые изображения рекламируемых изделий промышленности, товарных знаков, детали рекламируемых изделий и т. п.

Многолетний опыт работ художника Е. М. Мандельберга в области люминесцентной живописи показал очень широкие возможности ее применения театральными оформителями, декораторами, а также архитекторами при оформлении интерьеров различных общественных зданий.

Замечательные качества светящихся красок в настоящее время широко используются в ряде постановок московских, ленинградских и других театров. Приведем здесь некоторые примеры.

Так, в спектакле «Синяя птица» в Московском художественном академическом театре впечатляющий эффект производят передвигающиеся в темноте фосфорически огненные цифры, изображающие ход времени, летающие в воздухе предметы и многое другое. Эти поразительные световые эффекты — результат умелого использования светящихся красок, предварительно облученных «черным светом» ультрафиолетовых лучей.

Впервые светящиеся краски были применены для создания сценических эффектов в ленинградских театрах Д. Н. Лазаревым, который отдал много сил и времени

разработке вопросов теории и практики ультрафиолетовых облучателей. Особенно эффективно их применение при изображении сцен из сказок и легенд. Об одной сцене в спектакле «Сказка об Иванушке и Василисе Прекрасной» Д. Н. Лазарев рассказывает: «Змей-Горыныч сеет всеобщий ужас. Вихрь, молнии и гром предшествуют его приближению, стада гибнут, деревья чахнут и реки высыхают. На сцене меркнет свет, и в ночной темноте появляется восьмиметровое трехголовое чудовище со светящейся зеленой чешуей, красными глазами и огнедышащими языками. В конце пьесы Иванушка, достав заветный шлем и меч булатный, ведет со змеем бой и отрубает ему все три головы; змей гибнет, рассыпаясь огненными искрами».

Эта сцена (см. цветную вклейку, рис. XIV) выполнена декораторами с применением светящихся красок и источников «черного света».

Светящиеся краски в настоящее время используют на сцене не только в полной темноте, но и при слабом освещении. С помощью этих красок изображают на декорациях уличные фонари, освещенные окна, подъезды домов и т. п. Они успешно имитируют звездное небо, голубоватое сияние луны, отблески ее света на воде, на венчающих частях башен, на циферблате городских часов и т. д. Иллюзия вечера или ночи создается зажигающимися городскими огнями, увеличением яркости мерцания звезд, восходящей луной и т. п. Можно использовать трансформацию излучений и на сцене в той последовательности, как это было описано ранее. Например, лесную опушку на декорации, первоначально покрытую снегом и инеем, можно на глазах у зрителей со сказочной быстротой заменить яркой картиной весны, когда те же деревья оденутся в прекрасное убранство молодой листвы или цветов.

Используя органические флуоресцирующие красители, можно получить разноцветные светящиеся ткани. Ткань погружают в водный раствор этого красителя на 10—15 мин. При этом, включив ультрафиолетовые облучатели, следят за тем, чтобы ткань окрасилась равномерно. Отжав и расправив ткань, ее сушат в помещении со слабым освещением. Такие ткани можно изготавливать и путем росписи их светящимися составами. Светящиеся декорации использовали постановщики известных спектаклей

на сцене Государственного Академического Большого театра: «Руслан и Людмила», «Золушка», «Пламя Парижа». Например, в балете «Золушка» запоминается «танец звезд». Покрытая светящимися красками одежда балерин ярко вспыхивает в зоне облучения ультрафиолетовыми лучами — за границей этой зоны танцовщицы мгновенно исчезают.

Светящиеся ткани могут использоваться в торговой рекламе, ярко вспыхивая вечером в витринах при облучении ультрафиолетовыми лучами. Как на сцене, так и в рекламе мгновенное появление светящихся изображений может быть связано с использованием вращающихся или полупрозрачных зеркал.

Светящиеся краски могут быть использованы в качестве аварийного и маскировочного освещения. Так, например, покрыв этими красками некоторые ограждения, ориентиры или указатели для движения людей или же рабочие органы приборов и механизмов (телефонные диски, табло, пульты управления, шкалы приборов, штурвалы, рукоятки и т. п.), можно видеть их светящимися при выключенной общей системе освещения. Если послесвечение применяемых составов будет относительно продолжительным (от 1 до 5 час), то их свет (без применения «черных» облучателей) может быть использован до восстановления общего обычного освещения. Их свет может быть использован в условиях опасности воздушного нападения при светомаскировке, для ориентирования людей, направляющихся в бомбоубежища или выполняющих спасательные работы, и т. п.

Светящиеся составы, хорошо аккумулирующие дневной естественный свет и обладающие удовлетворительным по длительности и яркости послесвечением, могут найти широкое применение для дорожных знаков, ночных блокнотов, светящихся топографических карт и даже для освещения некоторых помещений.

Способность светосоставов временного действия разлагаться под действием лучистой энергии или влаги может быть замедлена дополнением к их составу ингибиторов — специальных веществ, задерживающих процесс разложения. Ингибиторами для сернисто-цинковых составов являются органические химические соединения, содержащие азот, например пиридин, лутидин, триэтиламин, хинин и др.

18. Иллюзии, возникающие при особых способах освещения и наблюдения

«Лучи, которые делают предметы невидимыми». Именно такой заголовок имела короткая заметка в центральной газете за 1940 г., а содержание было следующее: «В Будапеште 24-летний венгерский изобретатель Б. сообщил об открытии им лучей, которые делают невидимыми предметы, на которые они направляются. Свое изобретение он продемонстрировал представителю газеты «Будапешти хирлап», который заявил, что после того, как в его присутствии лучи были направлены на мраморную статую, последняя медленно исчезла. Протянув руку, представитель газеты нащупал невидимую статую. Через некоторое время она опять стала видимой. Изобретатель Б. отказывается сообщить подробности своего изобретения. Он собирается в ближайшее время продемонстрировать его перед экспертами». Какие же это были лучи? Конечно, это были самые обычные световые лучи, но иллюзия исчезновения статуи могла быть получена за счет одного из следующих известных нам явлений: яркостного контраста, световой завесы, использования стробоскопического эффекта, применения люминесцирующих красок и, наконец, применения поляризованного света или поляридов.

Известно, что видимость предмета на том или ином фоне зависит от яркостного контраста, т. е. от отношения разности яркостей предмета и фона к яркости фона. Величина эта, иногда выражаемая в процентах, имеет некоторое пороговое значение, зависящее в свою очередь от угловых размеров наблюдаемого на данном фоне предмета.

Если при некоторых условиях (возможно, имевших место при демонстрации «изобретения» Б.) разность яркостей между предметом (статуей) и фоном становилась равной нулю, то видимость предмета отсутствовала. Достигнуть такого выравнивания яркостей можно было либо увеличением яркости фона задней подсветкой при постоянстве яркости предмета, либо уменьшением яркости предмета, регулированием его освещенности при постоянстве яркости фона.

Если контраст будет менее одного процента, то такой предмет, как белая статуя на белом фоне, может исчезнуть из поля зрения.

Второй способ освещения, при котором видимая ранее статуя вдруг пропала, мог быть основан на принципе применения световой завесы. Этот принцип известен очень давно в прожекторной технике; едва ли не первые наблюдения действия световой завесы были описаны в «Артиллерийском журнале» за 1885 г. В том году в Артиллерийской академии были поставлены следующие опыты. Пучок Друммондова света*), отброшенный фонарем, освещал деревянную лошадь, поставленную в конце длинного коридора; лошадь была видна совершенно отчетливо. Когда же пучок света на небольшом расстоянии от освещаемого предмета пересекался лучами магниевого света**), то предмет исчезал из глаз. Если пересечение пучков происходило под довольно большим углом, то предмет становился совершенно невидимым.

Действительно, если вы попытаетесь на слабо освещенной улице увидеть предметы на противоположной стороне ее через сильно рассеянные запыленным городским воздухом лучи хороших автомобильных фар, то ваша попытка не увенчается успехом. Видеть предметы через пелену рассеянного света нельзя — на этом основан принцип световой завесы, который мог использовать венгерский изобретатель.

Спицы быстро вращающегося маховика могут быть невидимы вследствие невозможности фиксировать их изображение на сетчатке. Используя же стробоскопический эффект, можно добиться хорошей видимости маховика, который будет казаться как бы неподвижным. Стробоскоп служит в этом случае для борьбы с инерцией зрения. Так, если при вращении маховика освещать его короткими импульсами светового потока от специального источника (причем момент действия светового импульса будет всегда совпадать с одной и той же фазой вращения маховика), то поворот маховика за время импульса будет очень малым и маховик будет отчетливо виден в одном положении.

Зная частоту посылки импульсов света, можно определить число оборотов маховика. Используя принцип стробоскопического эффекта, можно добиться то «появления»,

*) Так назывался источник света в виде раскаленного пламенем гремучего газа куска извести, по имени англичанина Друммонда.

**) Магниевый свет — свет от сжигания полоски магния, продвигаемой механизмом в фокус металлического вогнутого зеркала.

то «исчезновения» установленной на вращающейся платформе вазы так, что ось вазы эксцентрична оси вращения. Ваза должна освещаться то короткими импульсами света, синхронизированными с вращением вазы, то импульсами длительности, большей, чем полный оборот вазы. В первом случае ваза будет видна и неподвижна, во втором — она может быть не видна на соответствующем фоне.

Выше были описаны случаи исчезновения и появления предметов, окрашенных светящимися красками, при изменении спектрального состава лучистого потока, падающего на эти предметы. При обычном освещении они «исчезали», а при ультрафиолетовом освещении «появлялись».

Наконец, известны случаи применения актерами некоторых покрывал (плащей или накидок) из особой поляроидной пленки. Артист, освещенный обычным светом прожектора, виден зрителям. Он же, освещенный поляризованным светом через поворачиваемый перед источником света поляроид, постепенно становился невидимым.

До некоторого времени многие иллюзионисты пользовались тем, что предметы, окрашенные черной краской, покрытые или обтянутые черным бархатом и помещенные на таком же фоне, на определенном расстоянии и при слабом освещении становились невидимыми. Сценическая площадка превращалась в «черный кабинет», у которого стены, потолок и даже пол покрывались черным бархатом.

В задней и боковых стенках декораций имелись отверстия, незаметные издали, так как они тоже закрывались ширмами или экранами из черного бархата или черной вуалью. В таком «черном кабинете» легко можно было показывать различные фокусы. Ассистенты в костюмах из черного бархата в черных перчатках и чулках с капюшонами из того же материала (отверстия для глаз в капюшонах перекрыты черной вуалью) были невидимы на сцене. В воздух, как бы сами по себе, поднимались столы и стулья, по сцене летали зажженные лампы, вазы с цветами и т. п. В «черном кабинете» легко создавались иллюзии «внезапного исчезновения», «обезглавливания» и т. п. Иллюзионист сам выступал в светлой одежде и все предметы, которые надо было показать зрителю, имели также светлую окраску. В практике сценического оформления спектаклей со сказочными или фантастическими сюжетами черный фон декораций имел настолько большое значение, что в книге К. С. Станиславского «Моя жизнь в искусст-

ве» имеется специальная глава «Черный бархат». В этой книге пишется о том, что только тяжелый труд и творческие поиски всех работников театра от режиссера-постановщика до техника-осветителя позволяют достигнуть восхитительного, захватывающего зрелища. Здесь же К. С. Станиславский предостерегает от чрезмерного увлечения «черными кабинетами», так как их мрачный вид может угнетающе действовать на зрителя.

В целях торговой рекламы иногда устраивают в витринах магазинов так называемые двухстенные панно. В этом случае в витрине помещается четырехстенный ящик, обращенный своим отверстием на улицу и имеющий заднюю стенку из матового стекла или полотняной кальки. При включении осветителя, находящегося у витринного стекла, на экране виден рисунок на внутренней стороне тыльной стенки ящика. При включении же более мощных осветителей сзади тыльной стенки ящика будут видны одновременно два изображения на обеих сторонах матового стекла. Включение осветителей может производиться периодически.

Таким способом можно показывать в витрине, например, мебельного магазина интерьер квартиры без мебели и вид этой же квартиры, обставленной мебелью. Можно показать цветущий фруктовый сад и тот же сад, усыпанный спелыми фруктами, общий вид торгового зала и вписанные в его контуры рекламируемые изделия и т. д.

Те же эффектные рекламные изображения можно получить, применяя плоские полупрозрачные зеркала, о чем было сказано ранее.

Вращающиеся лучи. Если горящую головешку привязать на веревку или мягкую проволоку и начать быстро вращать ее вокруг вытянутой руки, то все будет видеть как бы сплошное огненное кольцо одинаковой яркости. Радиус этого кольца будет определяться длиной вращающейся части веревки или проволоки, а ширина светящегося кольца будет зависеть от размеров горячей части головешки.

С незапамятных времен пиротехники знают принцип реактивного движения ракет со светящимися хвостами и эффект превращения светящегося хвоста ракеты в свечение некоторого участка ее траектории или сплошное свечение всей окружности, по которой ракета вращается.

Этими свойствами подвижных огней пользовались еще в глубокой древности, а замечательный русский механик И. П. Кулибин применял пиротехнические составы для сооружения хитроумных и необычайно эффектных праздничных фейерверков во дворцах и парках Петербурга.

Иногда вносят «изобретательские» предложения освещать вращающимся прожекторным лучом большие территории. Авторы этих предложений считают, что луч прожектора, достаточно сильно освещающего малый участок на городской площади, можно начать вращать с такой скоростью, чтобы световое пятно успевало обегать всю окружность за то время, пока глаз еще не успеет заметить ни исчезновения, ни появления света. При этих условиях якобы все кольцо на поверхности земли, где пройдет пятно от луча прожектора, будет освещено так хорошо, что обеспечит надлежащую видимость всех предметов на территории кольца.

От описанной выше иллюзии появления кажущегося сплошного светящегося кольца, обусловленного явлением инерции зрения, кажется нет препятствия перейти к «новому» техническому использованию этого явления. Однако при слиянии мелькания источника света в поле зрения наблюдателя происходят изменения действующих освещенностей и яркостей всегда в соответствии с законом Ф. Тальбота, который можно формулировать двойным образом:

1) Если при помощи механических или других приспособлений прекращать действие светового потока по какому-либо направлению на короткий промежуток времени (с частотой, большей или равной частоте слияния мельканий), то освещенность поверхности, на которую падает поток, уменьшится пропорционально отношению времени, когда поток не прерывается, к продолжительности всего периода.

2) Видимая мгновенная яркость, умноженная на продолжительность полного периода, равна произведению максимальной яркости на продолжительность проблеска.

Другими словами, количество освещения за весь период с уменьшенной освещенностью остается равным количеству освещения за короткий промежуток времени проблеска с максимальной возможной освещенностью.

На этом основании вращающийся с большой скоростью луч прожектора создает освещенности предметов во

За границей это преимущественно торговая фирменная реклама, зазывающая покупателей в магазины, посетителей в кафе и рестораны, зрителей в кино, театры и пр.

Заметим, что эти порой необычные, хитроумно устроенные и организованные световые аттракционы рассчитаны специально на привлечение внимания и построены принципиально довольно просто — действие их основано на определенных свойствах зрительного аппарата человека и достижениях современной техники освещения и световой сигнализации.

В большинстве случаев эти устройства представляют собой системы расположенных определенным образом ламп накаливания и газоразрядных трубок, имеющих ту или иную окраску и включаемых в определенной последовательности с помощью особых коммутаторов, которые приводятся в действие от электродвигателей малой мощности или электронных, полупроводниковых и других переключателей.

Огромное множество различных вариантов динамических иллюминационных или рекламных устройств не могут быть изложены здесь сколько-нибудь подробно. Постараемся остановиться на описании лишь наиболее типичных из них.

В наше время пиротехнические, трудно управляемые и кратковременно действующие иллюминационные огни все более вытесняются электрическими, статическими и динамическими огнями. Эти последние развиваются по-своему, в связи с появлением новых электрических источников света и с развитием электротехники. Так, например, все виды рекламных и агитационных надписей от статических до надписей с подвижным, постоянно меняющимся текстом раньше устраивались преимущественно с помощью ламп накаливания, располагаемых по контурам букв и цифр. В настоящее время для всех этих надписей применяются в основном высоко- и низковольтные газоразрядные лампы. Если цветные надписи с помощью ламп накаливания могли быть получены только путем окрашивания колб ламп в соответствующие цвета, то разноцветные буквы с газоразрядными трубками можно получить, применяя неоновые (красные), аргоновые (синие), натровые (желтые) и другие трубки, наполненные соответствующим газом (высоковольтные) или покрытые изнутри соответствующими люминофорами (низковольтные). В последнем случае цвета

оказываются наиболее чистыми, установки более экономичными и удобными в эксплуатации.

Статическая иллюминационная или рекламная установка оборудуется расположенными определенным образом, постоянно горящими в темное время суток источниками света. Статические светящиеся надписи чаще всего выполняются высоковольтными газосветными трубками. Буквы образуются изгибанием трубок таким образом, чтобы при соответствующих размерах знаков расстояния между электродами соответствовали величине питающего напряжения. В зависимости от заданных размеров букв производится подключение их отдельных частей, отдельно каждой буквы или некоторой группы букв. Схемы питания могут быть с дросселями или с индивидуальными трансформаторами.

Динамические иллюминационные или рекламные установки и надписи устраиваются так, что отдельные их элементы периодически зажигаются и гаснут в определенной последовательности. Эти установки способны лучше привлечь внимание, производят большее впечатление и лучше запоминаются, чем установки статические. Переключение может осуществляться, например, по следующим программам:

а) Программа смены цвета надписей, фигур или рисунков. Указанные элементы могут быть выполнены из трубок двух различных цветов, расположенных рядом по контурам буквы или фигуры. Каждый ряд трубок одного цвета питается от своей группы трансформаторов. Первичная питающая цепь трансформаторов переключается в заданной последовательности. Продолжительность горения каждого цвета — в пределах 3—5 сек.

б) Программа смены текста выполняется из прозрачных газосветных трубок, которые наложены друг на друга и укреплены на цветном фоне. Поочередное включение их создает эффект мгновенной смены текста.

в) Программа нарастающих включений или пишущей рекламы, когда текст включается не сразу, а по словам, слогам, буквам или частям букв. После того как вся надпись включится, она некоторое время светится, затем отключается и после некоторой паузы процесс включения повторяется. Весь период времени от зажигания первого элемента до паузы включительно называется циклом, продолжительность которого может быть порядка 15—20 сек.

г) Программа «растущей» надписи может быть выполнена из ламп накаливания или газоразрядных трубок, расположенных по возрастающим контурам букв; включаются поочередно одни контуры, а затем другие.

На рис. 208 приведена «растущая» надпись «скоро». Надпись создана из трех комплектов трубок одного цвета. При первом переключении загорается самый мелкий шрифт «скоро». При втором переключении первый гаснет, но зажигается второй, а затем третий.

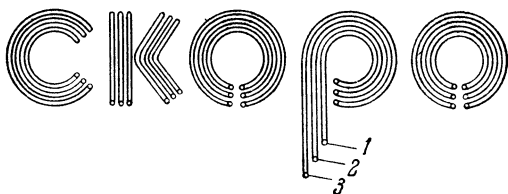


Рис. 208. Растущая надпись.

1, 2, 3 — трубки различных групп, включаемых в последовательности 1, 2, 3.

Особый интерес представляют динамические иллюминационные украшения фасадов зданий, кинотеатров, иллюминационные витрины и панно в парках, на берегах рек и т. п.

Приведем примеры таких устройств и укажем кратко на принципы их действия.

На рис. 209 представлены контуры иллюзиона «фонтан с бассейном», где вырывающиеся снизу вверх «струи воды» и «волны в бассейне» образованы светящимися точками вспыхивающих и гаснущих друг за другом электрических ламп накаливания.

Если высота фонтана от основания до вершины равна 10 м, кривая изгиба наверху 1 м и ниспадающая «струя» 9 м, то длина каждой гирлянды 20 м. В фонтане 10 гирлянд «струй», каждая струя образована сотней ламп накаливания, мощностью 25 *вт* каждая.

Для периодического включения ламп применен коммутатор барабанного типа, приводимый во вращение электродвигателем мощностью 0,5 *квт* через редуктор. Скорость вращения барабана 20 *об/мин*, при этом переключение 6 групп ламп в каждой гирлянде происходит в течение 3 *сек* (по 0,5 *сек* на группу). Такая скорость переключе-

ний обеспечивает зрительный эффект непрерывности движения «струй воды» в «фонтане».

Для «бассейна» изготовлено пять волнообразных гирлянд длиной в распрямленном виде 7 м каждая и в волнообразном виде 4 м.

Эффект колебания «воды» в «бассейне» достигается вследствие того, что в течение трех секунд вспыхивают

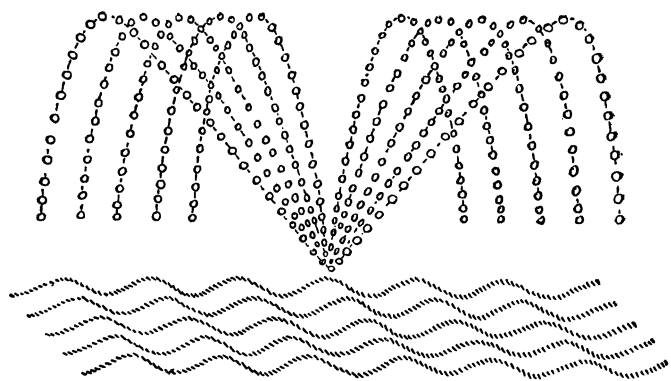


Рис. 209. Световой аттракцион «электрический фонтан с бассейном».

одна за другой волнообразные гирлянды. Здесь расстояние между лампами должно быть возможно меньшим (например, 50 мм — тогда уместится 70 ламп в гирлянде). Лампы можно взять мощностью 15 *вт*.

Интересной и более простой иллюминационной установкой является световой «веер», разворачивающийся и сворачивающийся периодически по мере включения групп цветных ламп накаливания или газоразрядных трубок различной цветности. Последний случай следует считать наиболее удачным вариантом выполнения этой установки. Действие ее происходит в такой последовательности. Сначала включается ряд трубок (рис. 210), образующих левую радиальную грань «веера», после этого включается дугообразная трубка наверху, затем включается следующая слева радиальная грань и т. д.

Высота «веера» и ширина его верхней части, а также число лепестков могут быть выбраны сообразно месту

установки этого иллюминационного устройства и наличия ламп накаливания или газоразрядных трубок.

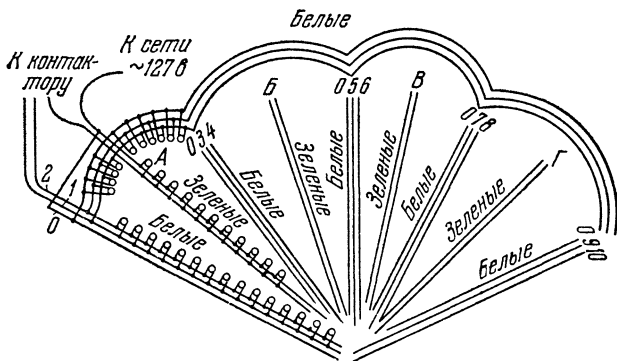


Рис. 210. Схема электрического «веера».

С целью рекламы успешно может быть применен медленно вращающийся «обтюратор», установленный на фасаде здания универмага или перпендикулярно плоскости

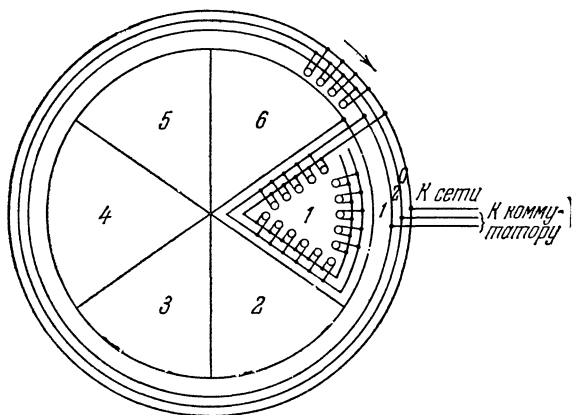


Рис. 211. Электрическая схема «обтюратора».

этого фасада. Электрическая схема такого «обтюратора» представлена на рис. 211. На контурах каждой секторной лопасти монтируются патроны с лампами накаливания по 40 вт каждая. Контуры лопастей вспыхивают поочеред-

но, причем внутри секторов могут быть изображены рекламируемые товары.

При диаметре «обтюратора» 1—1,5 м патроны ламп накаливания могут быть смонтированы на листе фанеры толщиной 10 мм или на диаметральных деревянных рейках в виде 6 контуров лопастей. Цикл включения может быть или по одному сектору сначала нечетный (1), затем четный (2) и т. д., или же сначала все нечетные (1, 3, 5), затем все четные (2, 4, 6) и т. д. Время горения ламп может быть порядка 1—1,5 сек. Желательно, чтобы колбы ламп были в соприкосновении друг с другом.

Интересен иллюминационный иллюзион — «вращающийся трехлопастной пропеллер», образованный четырьмя

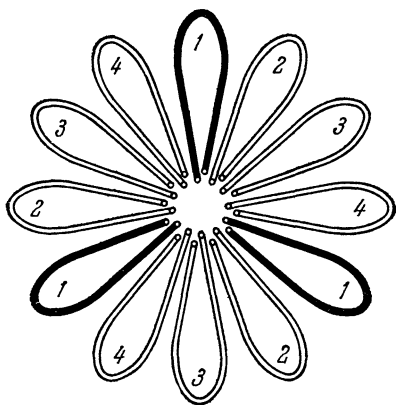


Рис. 212. «Вращающийся пропеллер» из газоразрядных трубок.

группами последовательно включаемых газоразрядных трубок (рис. 212). В этом случае скорость переключений может быть достаточно большой, так чтобы полный оборот пропеллера совершался за 1—1,5 сек, т. е. продолжительность свечения трубок одной группы была менее 0,5 сек.

Кроме указанных ранее коммутаторов барабанного типа для переключений газоразрядных трубок высокого напряжения, действующих при малых силах тока, могут быть использованы ламповые мультивибраторы, релейные переключатели и др.

На рис. 213 приведена схема включения ламп накаливания, образующих «стреловидную молнию», с коммутатором весьма простой конструкции, приводимым во вращение от электродвигателя проигрывателя. Это иллюминационное устройство может достаточно эффектно обозначать вход в кинотеатр, ресторан и т. п.

Интересны оптические иллюзии, связанные с направлением распространения света. Так, например, в темное время

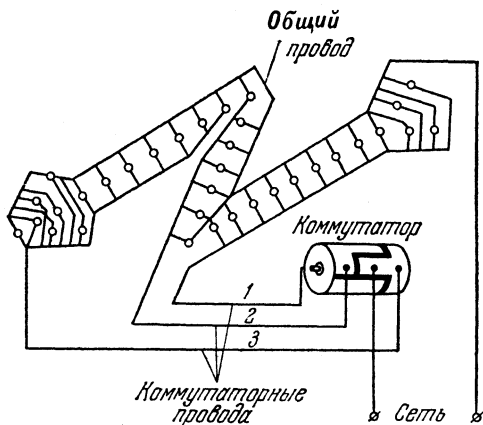


Рис. 213. Схема «стреловидной молнии».

суток мы видим окна жилых домов светящимися, так как часть света от искусственных источников, освещающих внутреннее помещение, выходит через оконные проемы наружу. В дневное время с улицы мы видим все окна, не освещаемые прямым солнечным светом, темными, почти черными из-за того, что естественный свет, проникая через окна внутри помещения, почти целиком поглощается и лишь ничтожная его доля выходит наружу. Внутренняя полость каждого помещения работает как «абсолютно черное тело» или как «полный поглотитель».

В 1926—1928 гг. в московском парке «Сокольники» люди толпились около доски, на которой можно было видеть три портрета. Если смотреть на доску, остановившись против ее центра, то можно было видеть один портрет — Пушкина. Отойдя от этого положения вправо шагов на шесть, можно было видеть портрет Лермонтова, а отойдя от центрального положения шагов на шесть влево, можно уви-

деть портрет Тургенева. Как это было устроено, поясняет рис. 214, на котором показаны расположенные под углом 90° к плоскости основного щита маленькие дощечки. На этих дощечках с одной стороны нарисован портрет Лермонтова, а с другой — портрет Тургенева или Пушкина. На левой половине рисунка стрелками № 1, № 2 и № 3 показаны направления линий наблюдения для того, чтобы видеть части портретов и каждый портрет в целом. То же

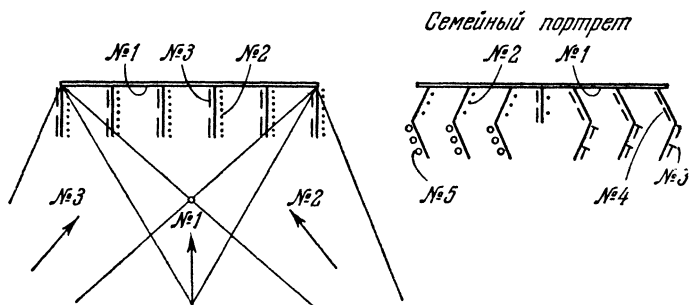


Рис. 214. Принципы устройства многоликих портретов.

самое происходит и при наблюдении пяти сторон пластинок, изображенных на правой части рисунка (семейный портрет) — здесь наблюдатель может увидеть пять различных портретов.

Если представить себе, что пластинки, перпендикулярные основе, на которой они закреплены, имеют очень малую высоту (доли мм) и вместе с тем представляют собой подобие многогранных призм, образующих оптический растр, то, оказывается, на этом растровом «полотне» можно изобразить, например, жонглера в различных последовательных позах и при различных положениях подбрасываемых им в воздух мячей, дисков или булав. Действия жонглера можно будет наблюдать, если пластинку с растром при рассматривании слегка поворачивать из стороны в сторону вокруг вертикальной оси фигуры жонглера.

Заметим, что соответствующим подбором способа освещения и вынужденным направлением рассматривания или наблюдения того или иного предмета можно достигнуть различных иллюзионных впечатлений.

19. Цветовые оптические иллюзии

Хроматизм — прекраснейшее свойство зрения. Выше уже были описаны случаи восприятия цветов при использовании светящихся составов и красок. Мы познакомились тогда с особо яркими красками люминесцентных рисунков. Однако мир цветовых впечатлений весьма грандиозен и существует множество интересных цветовых явлений, которые могут быть отнесены к оптическим иллюзиям. На некоторые из них мы обратим здесь свое внимание.

Термином «цвет» в технике принято обозначать определенное свойство видимого излучения, которое можно оценить по вызываемому им у среднего человеческого глаза ощущению. Это ощущение имеет две стороны: количественную и качественную. Первая характеризуется яркостью предмета или источника излучений, а вторая обусловлена цветностью излучения, т. е. преобладанием в потоке излучений определенного спектрального состава, что позволяет качественно отделить синее излучение от зеленого, зеленое от красного и т. п. Все предметы, видимые нами, обладают способностью или излучать световой поток определенного спектрального состава (самосветящиеся тела), или же пропускать, отражать и рассеивать световые лучи определенных длин волн (несамосветящиеся тела). Следовательно, цвет каждого несамосветящегося предмета зависит как от спектрального состава падающего на это тело светового потока, так и от спектральных коэффициентов пропускания, отражения или рассеяния определенных световых волн.

Качество цвета, или цветность, характеризуется цветовым тоном, т. е. определенной длиной волны. Относительная величина спектральной составляющей в том или ином цвете называется «чистотой цвета» и выражается в процентах. Чистый спектральный цвет имеет чистоту 100%, чистый белый — чистоту 0%.

Путем смешения излучений (например, направляя на экран свет от двух источников — цветного и белого) можно получать разные цветовые тона — не чистый спектральный цвет, а «разбавленный».

Видимые цвета несамосветящихся предметов могут изменяться в зависимости от того, каким источником света их освещать. Это явление носит название «цветопередачи» и имеет большое значение в технике освещения. Цвет пред-

метов при естественном освещении будет изменяться в зависимости от условий освещения (прямой солнечный свет, свет облачного или безоблачного неба, высота солнца над горизонтом и т. п.). Цвет предметов при искусственном освещении в помещении будет зависеть от типа источника света, окраски стен и потолка и т. п.

На современном уровне развития человек различает огромное множество цветов и их оттенков. Некоторые он уже успешно переносит из природы на производство, в быт и в искусство, но очень многие еще искусственно воспроизводить не умеет. Цвет приобрел в жизни человека огромное значение и в связи с этим получила развитие особая наука — цветоведение, которая занимается математическим анализом параметров (координат) цвета, вопросами измерения цвета и вопросами психофизиологических особенностей восприятия цвета человеком.

Физиологическое и психологическое воздействие цвета серьезно изучал великий немецкий поэт Гёте. Двадцать лет упорного труда отдал он разработке теории цвета, которая по-настоящему увлекла его. Он считал, что у каждого цвета есть своя область воздействия — в этом отношении его мнение совпадало со взглядами представителей древней и древнейшей культуры.

Некоторые цвета символически выражали и выражают некоторые понятия и даже свойства характера человека.

Так, например, в средние века багровый цвет считался цветом отваги, пурпурный цвет — цветом достоинства, силы и могущества, лазурь и лазурно-голубое небо являлись символом красоты, мягкости и величия, красный цвет — символ любви, а желтый — измены и разлуки. Эти понятия, между прочим, легли в основу герольдики — учения о гербах дворянских родов, княжеств и государств.

Гёте считал, что синий цвет влечет нас за собой и кажется нам удаляющимся. Красный представляется поэту грозным, устрашающим. Так как закат солнца часто сопровождается кроваво-красной зарей, то цвет вечерней зари является символом тревоги, опасности, а иногда и призывным знаком борьбы. Зеленый цвет кажется Гёте умиротворяющим, успокаивающим. Тьма глубоких пещер, или цвет черной ночи, когда вся природа погружается во тьму и как бы замирает, является символом печали,

траура. Кроме того, Гёте считает, что какой-либо один цвет нас утомляет и благоприятно действует гармония цветов.

Многими опытами доказано, что фиолетовые и особенно ультрафиолетовые лучи биологически активны — они ускоряют процесс жизнедеятельности, хотя голубые, синие и фиолетовые цвета считаются «холодными». Красный и оранжевый цвета являются «теплыми», согревающими цветами.

Искусственные цветные огни теперь имеют особенно большое практическое значение для световой сигнализации на всех видах современного транспорта. Совокупность условий видимости световых сигналов должна обеспечивать фиксирование сигнала глазом человека, установление его формы и цвета.

Если светосигнальное устройство расположено на значительном расстоянии от наблюдателя, то первоначально свет сигнала может вообще не восприниматься. Затем, когда по мере приближения на зрачке глаза наблюдателя создается освещенность более $0,8 \cdot 10^{-9}$ лк, что соответствует условному световому порогу чувствительности глаза, принимаемому при расчетах сигнальных устройств, сигнал становится видимым. Характерно, что вначале человек может увидеть не цветной сигнал, а белый, но считается, что для красного цвета световой и цветовой пороги совпадают, и наблюдатель, приближаясь к красному сигнальному огню, сразу воспринимает его в виде сигнала красного цвета. Именно поэтому красный цвет и применяется в качестве «запрещающих» сигналов.

Результаты многих исследований и практика подтверждают правильность выбора в качестве основных цветов сигнальных огней красного, желтого и зеленого. Эти три цвета наиболее легко воспринимаются и хорошо отличны друг от друга.

В качестве предупредительных сигналов, и тем более аварийных, запрещающих продолжение движения или производственного процесса, сигналов извещения о критическом значении температур, давлений, скоростей и других параметров применяется красный цвет. Красный цвет обладает высокой чистотой и контрастом по отношению к другим сигналам. Проходя через атмосферу, красные лучи значительно меньше рассеиваются, чем, например, синие и голубые. Рассеяние синих и голубых лучей

молекулами воздуха объясняет нам голубой цвет безоблачного неба. Красные лучи лучше проникают через туман, пыль, дым и т. п.

Заметим, однако, что при красном освещении люди менее точно определяют объем, величину и вес предметов, чем при голубовато-зеленом.

Говоря о рассеянии света воздухом и частицами пыли или дыма, подвешенными в воздухе, следует сказать об изменении видимого цвета при рассеянии. Например, табачный дым представляется нам либо голубоватого, либо красноватого оттенка в зависимости от расположения наблюдателя по отношению к курильщику, облаку дыма и источнику света.

Если смотреть на дым в направлении на источник света, он нам кажется красноватым. Наоборот, при наблюдении со стороны источника или сбоку дым кажется голубоватым.

Синий цвет не применяется в качестве сигнального, но так как он сильнее поглощается и рассеивается воздухом, его рекомендовали применять для маскировочного освещения во время войны. Однако здесь физические свойства синих излучений необходимо сопоставлять с физиологическими свойствами зрения — повышением чувствительности к восприятию синих лучей при малых яркостях в поле зрения (эффект Пуркине). В этой проблеме еще далеко не все окончательно исследовано. Иногда синее освещение выгодно, но иногда оно просто неуместно.

Известны два способа смешения цветов: аддитивный (слагательный) и субтрактивный (вычитательный). Простейшим устройством для аддитивного смешения цветов является прибор, предложенный Ламбертом. Если взять чистое, бесцветное, прозрачное стекло, укрепить его вертикально, как показано на рис. 215, слева и справа от стекла положить два цветных образца и смотреть на стекло под некоторым углом, то на фоне поверхности, на которой лежат образцы, можно увидеть цвета этих двух образцов. Изменяя направление визирования или наклон стекла, можно ослаблять долю одного или другого цвета в их смеси и таким образом наблюдать смесь цветов в разных пропорциях. Все чистые дополнительные цвета при таком смешении, а также три основных цвета (красный, синий, зеленый) будут давать белый цвет. Смешивая три основных цвета в различных пропорциях, можно получить

любой цвет. Основные цвета являются взаимонезависимыми, так как ни один из них не может быть получен смешением двух остальных. Описанный способ смешения цветов иначе называют оптическим, так как при этом подтверждается трехцветная теория зрения. Тот же характер смешения цветов имеет место при вращении диска Максвелла с цветными секторами, о котором упоминалось в I части «Иллюзий зрения».

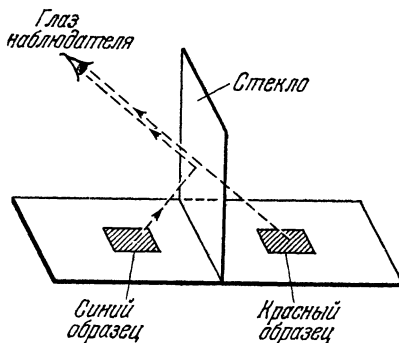


Рис. 215. Аддитивное смешение цветов по методу Ламберта.

Смешивая цвета одинаковой яркости и чистоты этим способом, получим: красный + синий = пурпурный; красный + зеленый = желтый; синий + зеленый = голубой и красный + зеленый + синий = белый.

Субтрактивный способ смешения цветов основан на том принципе, что если посмотреть на источник белого цвета через тот или иной светофильтр, то возникает ощущение того цвета, который соответствует излучению, пропускаемому данным светофильтром.

Желтый светофильтр поглотит (вычтет) из белого фиолетовые и синие излучения, а пропустит зеленые, желтые и красные. Голубой поглотит красные и оранжевые, а пропустит зеленые, синие и фиолетовые излучения. Наблюдая белые излучения через совмещенные желтый и голубой светофильтры, мы получим ощущение зеленого цвета. Пурпурный и желтый в совокупности дадут красный, а пурпурный и голубой дадут синий.

Если совместить три светофильтра, желтый, пурпурный и голубой, то белые излучения будут полностью поглощаться и через три фильтра мы не увидим света.

Полное пропускание белого излучения при аддитивном смешении и полное его поглощение при субтрактивном произойдет только при достаточной чистоте цветового тона и определенной яркости взятых спектральных цветов. В противном случае при обоих способах смешения в месте наложения всех трех светофильтров будет видно серое пятно.

Существует понятие согласования цветов. Рядом расположенные различные цвета могут создавать приятное впечатление, способствовать приливу энергии или же производить угнетающее впечатление, раздражать и даже вызывать нервное расстройство.

Большое внимание вопросам согласования цветов уделяется в текстильной промышленности, где от выбора способа раскраски тканей или подбора цветов пряжи в сильной степени зависит качество продукции, а именно приятное зрительное впечатление от изготовленной из этой ткани одежды.

Следует заметить, что цвет пряжи может сильно измениться при изготовлении ткани; текстильщики знают множество примеров этого явления.

Исследования природы света в прошлом веке привели Д. Максвелла и Г. Гельмгольца к созданию трехкомпонентной теории цветового зрения, которая занимает теперь господствующее положение. Все огромное разнообразие оттенков цвета, различаемых глазом (а их насчитывается свыше десяти тысяч), эта теория объясняет как результат комбинации только трех основных цветов: красного, зеленого и синего. Благодаря этой теории стали возможны цветная печать, цветная фотография, цветное кино и, наконец, цветное телевидение. Казалось бы, эта теория подтверждена огромным опытным материалом.

Однако в человеческом глазу не удалось обнаружить трех различных «приемников» этих основных цветов, не удалось окончательно доказать, что три цветных сигнала, даже если они передаются глазом в мозг, соединяются в мозгу в ощущение единого сложного цвета. Поэтому есть попытка объяснить цветовое зрение на новой основе. Например, американский ученый Э. Лэнд в 1959 г. опубликовал работу, в которой описал свои опыты по цветовому зрению. Оказывается, если сфотографировать группу цветных предметов на обычную черно-белую пленку, освещая объект съемки сначала красным, а потом зеленым светом,

то на изготовленных затем диапозитивах изображения будут не совсем одинаковы. Некоторые детали изображения на одном диапозитиве выглядят более светлыми, чем на другом, другие детали, наоборот, на первом диапозитиве темнее, а на втором светлее.

Процесс цветового зрения — один из самых удивительных процессов в животном мире. Еще очень мало известно, как распределяются функции между глазом и мозгом в получении цветового впечатления. Дальнейшие углубленные изыскания должны раскрыть подлинные сокровища, тающиеся в нашем мозге, о существовании которых мы и не подозреваем.

Цветная музыка (светомузыка). Правдивое изображение красками можно сравнить с музыкальной мелодией. Правдивость мелодии мы воспринимаем независимо от того, сыграна ли она в высоком или низком регистре, если только сохраняются отношения составляющих мелодию звуков. Но стоит только нарушить эти взаимные отношения — мелодия перестает существовать. То же самое и с красками. Можно изобразить ту или иную красочную гамму, в известных пределах более или менее светлую и насыщенную, но взаимное различие предметов по трем основным свойствам цвета (цветовой тон, чистота и яркость) должны быть соблюдены обязательно, иначе живопись не будет производить цельного гармоничного и правдивого впечатления. Краски, которые в картине не связаны в пропорциональных натуре отношениях по цвету, насыщенности его и светлоте с другими цветами, вызывают ощущение диссонанса и выделяются как фальшивые ноты в музыке.

Рассмотренная здесь чисто физическая, казалось бы, связь музыкальных звуков и цветов оказывается очень давно была подмечена еще и как связь психофизиологическая.

Великий мыслитель Древней Греции — Аристотель за 300 лет до нашей эры высказал мысль: «Цвета по приятности их соответствия могут относиться между собою подобно музыкальным созвучиям и быть взаимно пропорциональными». В установлении связи между звуками и цветами имели значение работы И. Ньютона, М. В. Ломоносова и др.

Выдающийся русский композитор А. Н. Скрябин, обладая субъективным чувством «видения звуков» (си-

топсией), создал особую симфонию «Прометей», в которую звел световую партию, заключающуюся в появлении некоторых цветов, как бы окрашивающих световые созвучия в соответствии с тем, как это представлял себе композитор. Первый раз эта светомузыкальная симфония А. Н. Скрябина была исполнена на концерте в Большом театре 4 февраля 1917 г., через два года после смерти композитора. Описывая эту первую попытку, корреспондент «Русской музыкальной газеты» высказал предположение, что в дальнейшем этот особый жанр в искусстве получит развитие и целый ряд выяснившихся недостатков будет устранен.

Однако, несмотря на огромные успехи в развитии техники освещения, цветного кино и телевидения, а также цветоведения вообще, объединение музыкальных и световых средств в одном художественном произведении до настоящего времени встречается очень редко. Это объясняется в первую очередь тем, что взаимодействие органов чувств, в частности зрения и слуха, еще мало изучено.

Уже выяснено, что восприятия цвета и его изменения влияют на слух, а музыка определенным образом перетраивает остроту зрения и цветовую чувствительность глаза. Это подтверждено исследованиями многих советских ученых, в частности С. О. Майзелем, С. В. Кравковым и др.

Член-корреспондент Академии наук СССР С. В. Кравков в течение ряда лет проводил опыты по изучению влияния слуховых раздражений на цветовое зрение. Он показал, что чувствительность глаза к зелено-голубым тонам под влиянием монотонных звуков заметно повышается, а к тонам оранжево-красным снижается. Было исследовано также влияние звуков различной громкости на чувствительность глаза (рис. 216). Оказалось, что чувствительность глаза к зеленому цвету с нарастанием громкости увеличивается, а к оранжевому уменьшается. E_1 — уровень цветовой чувствительности глаза при отсутствии звукового раздражения; E_2 — уровень цветовой чувствительности при наличии звука: пониженный в области красных и оранжевых и повышенный в области зеленых и голубых лучей. Чувствительность к вишнево-красному, желтому и синему цветам при звуковом раздражении не изменяется. Имеются данные по перестройке восприимчивости звуков под влиянием различных световых воздей-

ствий. Перестройка восприимчивости происходит благодаря вполне определенным связям между зрительными и слуховыми аппаратами человека, которые осуществляются в низших отделах головного мозга. Эти связи свойственны любому человеку с нормальным слухом и зрением.

В настоящее время в СССР над проблемой связи музыки и цвета среди множества любителей-искателей очень успешно работает инженер К. Л. Леонтьев, предложенная им аппаратура для преобразования звука в свет уже неоднократно демонстрировалась на международных выставках.

К. Л. Леонтьев указывает, что попытки создания свето-музыкальных произведений до сих пор не имели

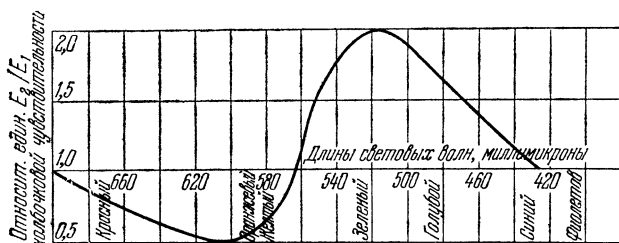


Рис. 216. Кривые изменения колбочковой чувствительности глаза под влиянием звуковых раздражений по С. В. Кравкову.

успеха не по вине плохой техники света, а из-за того, что не учитывались объективные закономерности и объединяющая работа органов зрительного и слухового ощущений

Чтобы создать световую партию музыкального произведения, которая обогащала бы восприимчивость слуха нет необходимости писать ее специально, ставя в соответствие звукам различной высоты определенные цветовые оттенки. Надо лишь преобразовать звук в свет и цвет по законам связи между слухом и зрением.

Работа звукоцветового преобразователя, говорит К. Л. Леонтьев, будет опираться на одно важное свойство слухового и зрительного каналов. Это свойство — неодинаковая «пропускная способность» этих каналов или резко отличающиеся объемы зрительной и слуховой информации. Отношения этих количеств информации примерно определяются отношением площадей зрительной и слу

говой областей мозга, которое равно 100 : 1. Поэтому если слуховую информацию перевести в зрительную, то глаз может распознать все звуковые оттенки, используя лишь 1 % своих способностей.

Устройство для преобразования звука в свет и общая схема работы звукоцветового преобразователя может быть такова. Звуки музыки, написанной композитором, как обычно без какого-либо светового сопровождения, воспринимаются слушателями и одновременно микрофонами, преобразующими их в электрические сигналы. Эти сигналы направляются в электронную модель уха, где производится анализ спектра звукового колебания с учетом всех преобразований, которые совершаются в слуховом аппарате человека. Далее эти сигналы должны быть подвергнуты обработке, в процессе которой выделяются сигналы, управляющие техникой света и цвета, его яркостью, насыщенностью, мерцанием, подвижностью. Выделенные сигналы должны управлять техникой света в строгом соответствии с теми связями, которые существуют между слуховым и зрительным аппаратами человека. Только тогда светоцветовая картина будет единственно правильным «переложением» прослушиваемой музыки, обогащающим ее художественные образы.

Гибкая настройка блока сигналов позволит специалистам-физиологам, психологам и искусствоведам в определенных пределах регулировать работу звукоцветового преобразователя, добиваясь наиболее слитного и впечатляющего восприятия светомузыки. Воспроизведение изменяющейся световой картины можно получить, например, с помощью трехцветных проекционных аппаратов с управляемыми диафрагмами, светофильтрами и другими элементами.

Дальнейшие исследования связей ощущений позволят использовать их не только для различных практических производственных задач, но и для увеличения выразительности произведений искусства и для эстетического наслаждения музыкальным произведением с одновременной игрой цветов.

Следует заметить, что многочисленные любители, пытающиеся сопровождать музыкальные произведения цветовыми эффектами, вспышками или мерцанием, весьма разнообразно решают задачу о соответствии звуков определенным цветам, длительности звучания тех или иных

нот или аккордов, длительности свечения монохроматических или цветопеременных излучателей. Для создания цветомузыкального воздействия они пользуются самыми различными техническими средствами, от различно сгруппированных цветных электрических лампочек, цветных экранов из пластмасс, цветных граней кристаллов, склеенных из силикатного или органического цветного стекла, и до вращающихся и мигающих специальных фонариков. Однако связь всех этих световых эффектов с музыкальными мелодиями или их элементами еще, к сожалению, не найдется на общепризнанном психофизиологическом или вообще на каком-либо научно обоснованном фундаменте.

ЛИТЕРАТУРА

К I части

1. С. О. Майзель, Свет и зрение, ГТТИ, 1932.
2. С. С. Алексеев, Б. М. Теплов, П. А. Шеварев, Цветоведение для архитекторов, ГОНТИ, 1938.
3. Н. Т. Федоров, Общее цветоведение, ГОНТИ, 1939.
4. С. С. Алексеев, Цветоведение, Гизлегпром, 1949.
5. Н. М. Гусев, Архитектурная светотехника, Государственное архитектурное изд-во, 1949.
6. С. И. Вавилов, Глаз и Солнце, изд. АН СССР, 1950.
7. С. И. Вавилов, Микроструктура света, Изд. АН СССР, 1950.
8. С. В. Кравков, Глаз и его работа, Изд. АН СССР, 1950.
9. С. В. Кравков, Цветовое зрение, Изд. АН СССР, 1951.
10. Г. Хартридж, Современные успехи физиологии зрения, ИЛ, 1952.
11. М. Миннарт, Свет и цвет в природе, Физматгиз, 1958.
12. Н. П. Тюрин, В поисках точности, Физматгиз, 1960.
13. А. В. Лунзов, Инерция зрения. Оборонгиз, 1961.
14. В. В. Шаронов, Свет и цвет. Физматгиз, 1961.
15. Д. Мензел, О летающих тарелках, ИЛ, 1962.
16. К. К. Платонов, Занимательная психология, «Молодая гвардия», 1962.
17. С. Толанский, Оптические иллюзии (перевод с англ.), «Мир», 1967.

Кo II части

18. М. Гарднер, Этот правый, левый мир (перевод с англ.), «Мир», 1967.
19. А. А. Бронников, Театральные световые эффекты, «Искусство», 1962.
20. Б. Ф. Плужников, Занимательная фотография, «Искусство», 1964.
21. А. Я. Федотов, Ожившие силуэты, «Молодая Гвардия», 1961.
22. Н. В. Волоцкой, Г. М. Кнорринг и др., Электрическое освещение производственных и гражданских зданий, «Энергия», 1964.
23. И. Д. Артамонов, Корабельные прожекторные установки, Воениздат, 1947.

24. К. С. Станиславский, Моя жизнь в искусстве, «Искусство», 1962.
25. Э. Ф. Кио, Фокусы и фокусники, «Искусство», 1958.
26. Ю. А. Дмитриев, Искусство цирка, «Знание», 1964.
27. Д. Н. Лазарев, Ультрафиолетовая радиация и ее применение, Госэнергоиздат, 1950.
28. Г. Г. Слюсарев, О возможном и невозможном в оптике Физматгиз, 1960.
29. Р. М. Ивенса, Введение в теорию цвета (перевод с англ.) «Мир», 1964.
30. К. Л. Леонтьев, Музыка и цвет, «Знание», 1961.
31. У. Брегг, Мир света и мир звука (перевод с англ.), «Наука» 1967.
32. Н. А. Валюс, Растровые оптические приборы, «Машиностроение», 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Часть первая. Иллюзии зрения, появляющиеся «самопроизвольно»	9
1. Краткие сведения об устройстве глаза и зрительных ощущениях	9
2. Недостатки и дефекты зрения	24
3. Иллюзии, связанные с особенностями строения глаза	31
4. «Целое» и «часть»	43
5. Переоценка вертикальных линий	55
6. Преувеличение острых углов	59
7. Меняющийся рельеф и перспектива	66
8. Фигура и фон	82
9. Портретные иллюзии	89
10. Иллюзии при движении объекта	96
11. Иллюзии цветового зрения	106
Часть вторая. Иллюзии зрения, создаваемые искусственными устройствами	111
12. Иллюзии, создаваемые с помощью плоских стекол и зеркал	111
13. Иллюзии от вогнутых и выпуклых зеркал	137
14. Иллюзии «искусства теней»	148
15. Иллюзии световой проекции	155
16. Иллюзии, возникающие при полном внутреннем отражении света	172
17. Иллюзии, связанные с явлениями люминесценции	186
18. Иллюзии, возникающие при особых способах освещения и наблюдения	196
19. Цветовые оптические иллюзии	210
Литература	221

Иван Дмитриевич Артамонов

ИЛЛЮЗИИ ЗРЕНИЯ

М., 1969 г., 224 стр. с илл.

Редактор *Л. П. Русакова*

Техн. редактор *В. Н. Крючкова*

Корректор *Л. Н. Боровина*

Сдано в набор 5/V 1968 г. Подписано
в печать 4/XII 1968 г. Бумага 84×108¹/₃₂. Физ.
печ. л. 7,0 + 2 вкл. Условн. печ. л. 12,18.
Уч.-изд. л. 11,96. Тираж 100 000 экз Т-17704
Заказ № 2701
Цена книги 41 коп.

Издательство «Наука»

Главная редакция

физико-математической литературы

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени

Первая Образцовая типография

имени А. А. Жданова Главполиграфпрома

Комитета по печати при Совете Министров СССР

Москва, Ж-54, Валовая, 28.

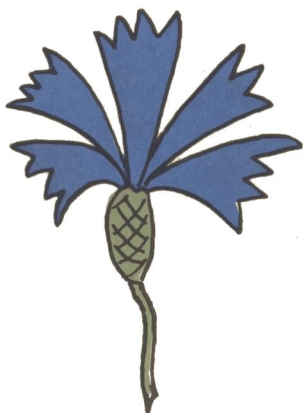
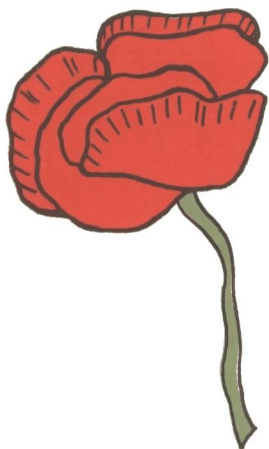


Рис. I.

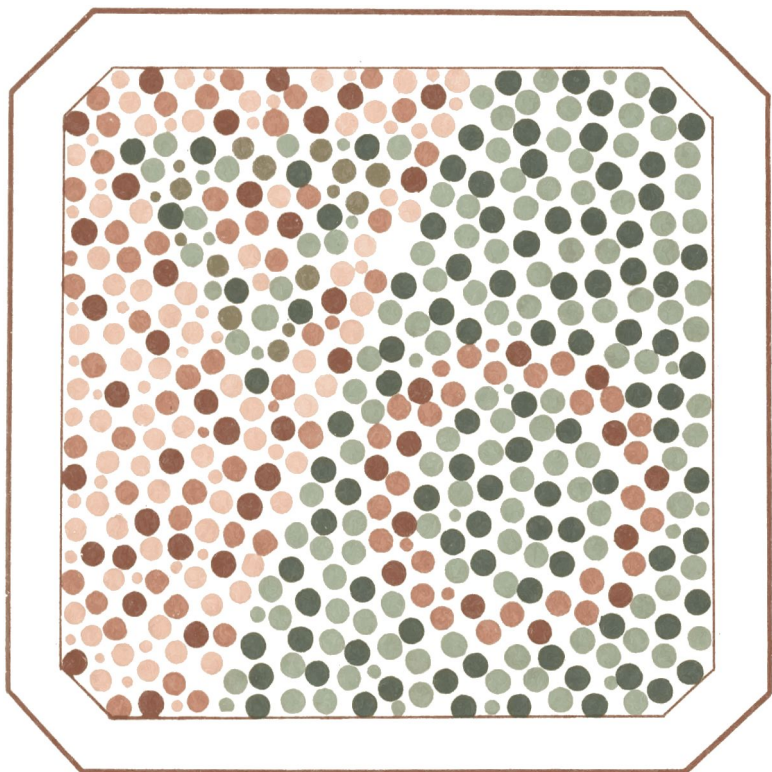


Рис. II.



Рис. III.

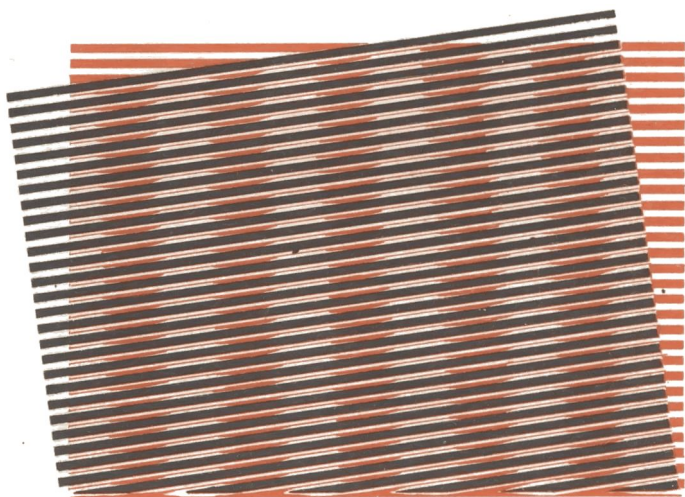


Рис. IV.

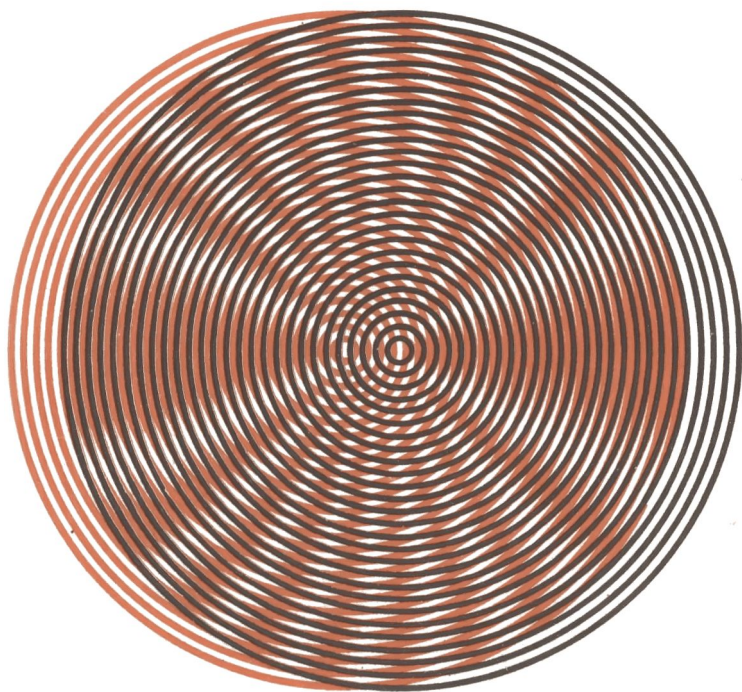


Рис. V.

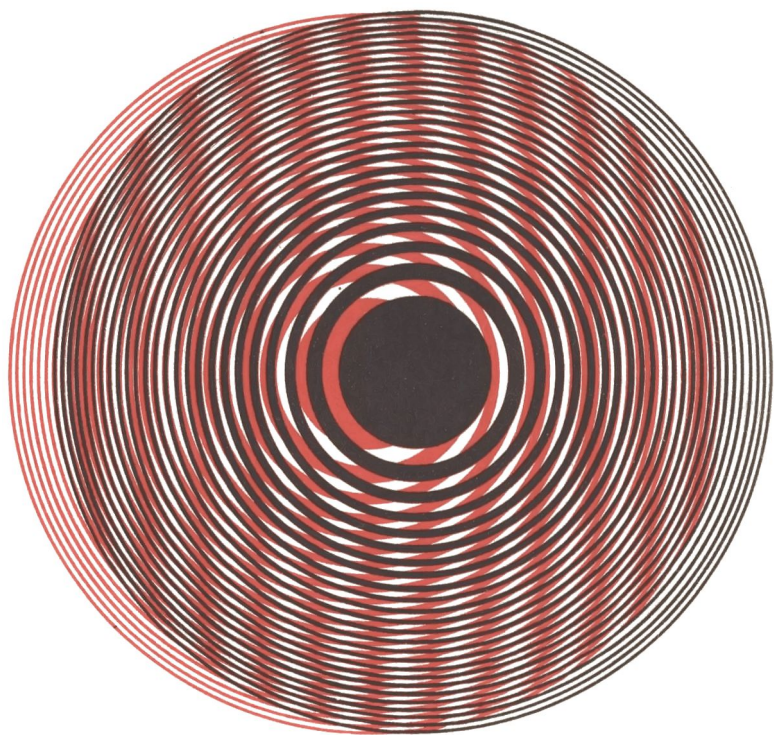


Рис. VI.



Рис. VII.

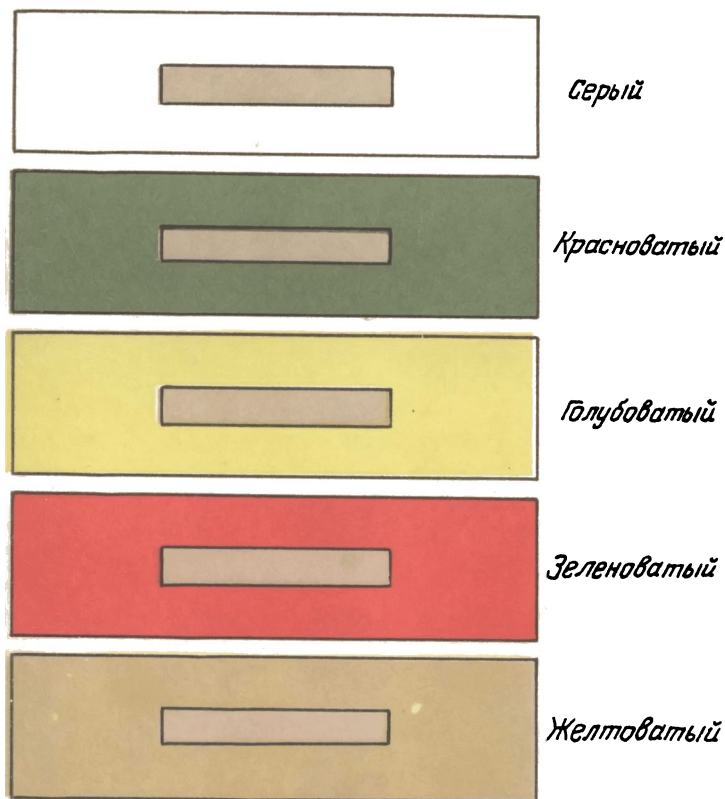


Рис. VIII.

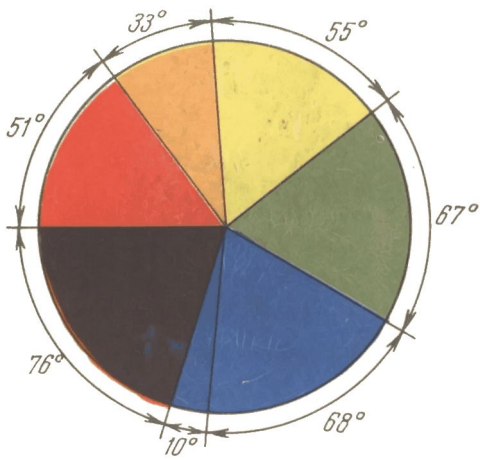


Рис. IX.

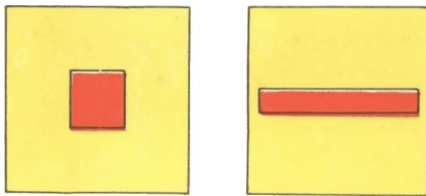


Рис. X.

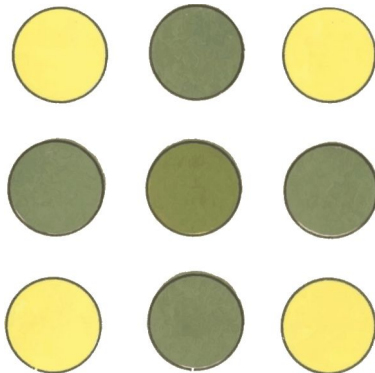


Рис. XI.

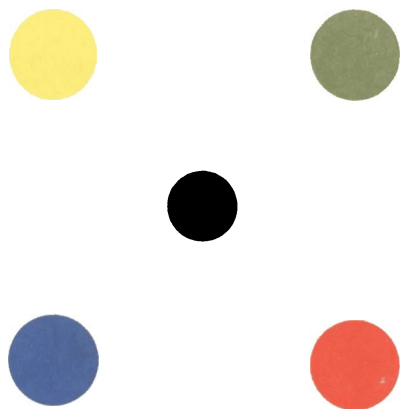


Рис. XII.

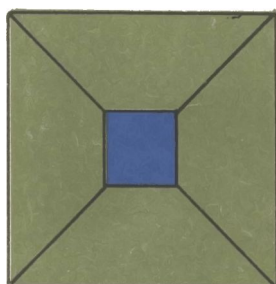
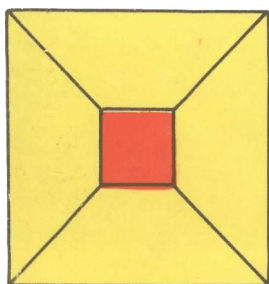


Рис. XIII.



Рис. XIV. «Змей-Горыныч» в Ленинградском ТЮЗ'е, расписанный светящимися красками (худ. Н. Иванов).