

Дж. Грегг

ОПЫТЫ СО ЗРЕНИЕМ





ИЗДАТЕЛЬСТВО
«М И Р»

EXPERIMENTS IN VISUAL SCIENCE FOR HOME AND SCHOOL

James R. Gregg

Los Angeles College of Optometry

1966



Джеймс Грегг

ОПЫТЫ СО ЗРЕНИЕМ

В ШКОЛЕ И ДОМА

Перевод с английского
и послесловие
А. И. КОГАН

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
МОСКВА 1970



Scan AAW

Грегг Дж.

Г 79 Опыты со зрением в школе и дома. Пер.
с англ. А. И. Когана, М., «Мир», 1970.
200 с. с илл. (В мире науки и техники), 45 к.

Прочитав книгу Дж. Грегга, любой человек сможет понять, как устроен глаз человека, узнать основные феномены зрительного восприятия, познакомиться с теми особенностями зрения, которые известны лишь специалистам. Вторая часть книги разделена на 39 небольших глав, в каждой из них дано описание эксперимента, демонстрирующего какой-либо феномен зрения или свойство глаза. Книга представляет интерес для всех любознательных, независимо от возраста и профессии.

5А2.2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Нет более интересной области науки, чем та, что изучает зрительные функции. Ее предмет — зрение — чрезвычайно важен для любого человека. Тем не менее начинающему исследователю, да и его наставнику трудно найти вводный материал, достаточно ясный для того, чтобы знакомство с наукой о зрении было увлекательным и относительно простым: обычные учебники слишком сложны, а научно-популярные книги о зрении и оптике в большинстве своем слишком элементарны.

Эта книга рассчитана на читателей с самым различным уровнем подготовки. Некоторые опыты предельно просты, но и они заинтересуют любого читателя, даже взрослого, потому что касаются чуда, которое зовется зрением. Иные, напротив, требуют понимания сложных теоретических положений и потому заинтересуют главным образом тех, кто пошел дальше основ. Многие задания могут быть выполнены школьниками средних классов; старшеклассники охотно займутся и более сложными экспериментами. Учителя могут использовать материал книги для классных и внеклассных занятий — не только по разделу оптики, но и в качестве иллюстрации к другим темам. Некоторые опыты позволяют обогатить интересными экспонатами школьные выставки.

Более того, опыты должны увлечь читателя. Для пытливых людей они окажутся особенно интересными.

Ответов на все вопросы в книге не будет. В некоторых случаях объяснений пока вообще не найдено. Экспериментатору придется эксплуатировать собствен-

ное воображение, рыться в других книгах и справочниках, чтобы расширить свои познания. Может быть, тайны, окутывающие процесс зрения, станут менее непроницаемыми благодаря читателям этой книги. Перед теми, кто посвятит свою жизнь науке о зрении, — широкое поле деятельности и много разных дорог.

Нужны теоретики, исследующие, каким образом осуществляется процесс зрения. Нужны ученые, изыскивающие способы применения известных фактов для улучшения зрительной работоспособности человека. Нужны, наконец, преподаватели науки о зрении.

Автор надеется, что эта книга окажется полезной для занятий и приятной для заполнения досуга, а главное — она будет способствовать углублению науки о зрении тем, что привлечет к ней внимание будущих ученых.

Джеймс Р. Грегг

ЧАСТЬ I

ВВЕДЕНИЕ

КОЕ-ЧТО О СВЕТЕ

Вы гораздо лучше воспримете учение о зрении, если ближе познакомитесь со светом и узнаете, как на него влияют линзы. Внимательно прочтите эту маленькую главу, прежде чем начнете экспериментировать.

Свет несет в себе энергию; это значит — он способен совершать работу. Он может, например, нагревать тела и вызывать химические реакции. В глазу свет так воздействует на определенные химические вещества (зрительные пигменты), что в результате высвобождаются порции особой энергии, называемые *нервными импульсами*. По зрительному нерву эти импульсы идут от глаза к мозгу.

Поток света состоит из мельчайших частиц (фотонов), движущихся с огромной скоростью, причем частицы, несущие разную энергию, движутся с различными интервалами — имеют разную *длину волны*. Белый свет, излучаемый любым источником — Солнцем или простой лампочкой накаливания, — движется со скоростью около 300 000 километров в секунду. Это значит, что за время скачка секундной стрелки на одно деление свет успевает более чем семь раз оббежать вокруг Земли. Такова скорость света в воздухе. Прозрачные вещества плотнее воздуха (стекло, вода) замедляют свет. В стекле свет движется лишь со скоростью около 200 000 километров в секунду.

Свойство стекла замедлять свет обуславливает и изменение направления движения света в стекле. Луч света, падающий на поверхность стекла под некоторым углом к ней, меняет свое направление, когда он входит в стекло, так как здесь скорость света умень-

шается. Выходя из стекла, луч снова меняет направление, скорость света опять возрастает.

На схеме 1 показано, как стеклянная пластина с параллельными поверхностями смещает луч света. Падающий на нее луч X отклоняется в пластине к нормали N_1N_2 , то есть к линии, перпендикулярной поверхности пластины. Выходя из стекла, луч снова отклоняется на такой же угол, но на этот раз от нормали N_3N_4 . Линия XX_1 параллельна линии выходящего луча Y_1Y_2 : луч сместился, но направление его осталось прежним.

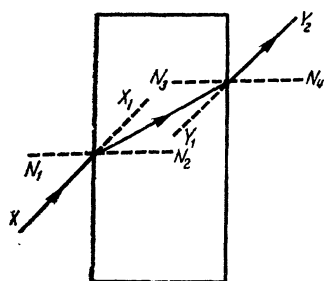
Поверхности призмы преломляют, как плоские стеклянные поверхности, но расположены они не параллельно друг другу, а под углом. Падающий луч отклоняется в призме к нормали N_1N_2 на некоторый угол, поскольку в стекле скорость света уменьшается; луч, выходящий из призмы, отклоняется от нормали N_3N_4 на такой же угол, но эти нормали не параллельны друг другу; в результате призма меняет направление проходящих через нее лучей.

С любым лучом, проходящим через линзу, происходит то же, что и с лучом, проходящим через призму, — направление его меняется. Направление выходящего луча зависит от угла, под которым луч вошел в линзу и вышел из нее. Особенность линз состоит в том, что поверхности у них кривые, и потому каждый луч входит в линзу и выходит из нее не совсем под тем же углом, что соседний, то есть преломляется не так, как остальные.

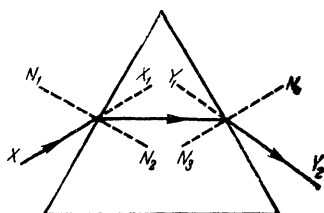
Нарисуйте собирательную и рассеивающую линзы. Проверьте, хорошо ли вы разобрались в том, как собирательная линза фокусирует свет, и поняли ли, как рассеивающая линза развертывает пучок света (кажется, будто лучи, составляющие его, выходят из одной фокусной точки).

Насколько меняет стекло направление света, зависит, во-первых, от угла падения луча на поверхность стекла и, во-вторых, от плотности стекла. Меняя эти параметры, можно изменить направление лучей света, выходящих из стекла, а значит, свет можно *фокусировать*.

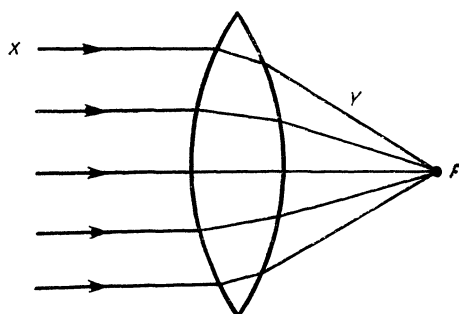
Рассмотрите внимательно обыкновенную лупу. Это самая простая из линз. Обычно изогнуты обе ее по-



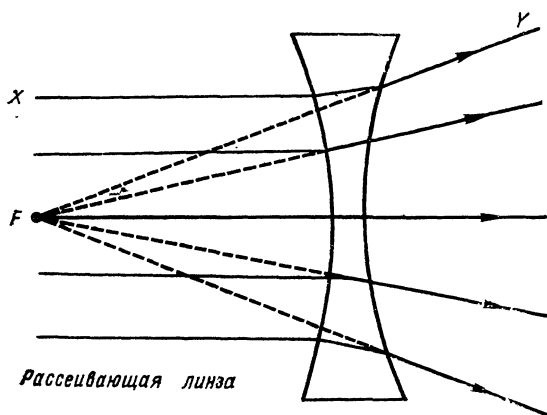
Стеклянная
пластина



Призма



Собирающая линза



Рассеивающая линза

Схема 1.

верхности. На изогнутую поверхность параллельные лучи света падают не под прямым углом¹. Обратите внимание, что в центре лупа толще, чем по краям. Это *собирательная* линза. Выходящие из нее лучи собираются в пучок, *конвергируют*. О лупе говорят, что она собирает лучи в фокус. Любая линза с таким действием (ее называют также выпуклой) увеличивает рассматриваемые сквозь нее предметы.

Линза, тонкая в центре и утолщающаяся к краям, называется *рассеивающей*. Выходящие из нее лучи расходятся, *дивергируют*. Линзы с таким действием называют еще *вогнутыми*. Рассматриваемые сквозь нее предметы кажутся уменьшенными.

Существует третий тип линз, к которому название «линзы», строго говоря, неприменимо, потому что их поверхности не изогнуты — лучи света, выходящие из них, не конвергируют и не дивергируют, а лишь меняют направление. Это *призмы*.

Призма — брусок стекла в форме клина. Лучи света, падающие под углом к одной из поверхностей призмы, не фокусируются, а отклоняются в одном направлении. Но, так как не все частицы света движутся с одинаковой скоростью, они отклоняются по-разному: красный свет отклоняется меньше всего, голубой — больше всего. Призма разделяет белый свет на составляющие, каждая из которых имеет иную длину волны, свой цвет. Этим же свойством в малой степени обладают почти все линзы. Свет замедляется в стекле тем сильнее, чем меньше длина его волны. Именно поэтому красный свет отклоняется призмой меньше, чем, например, голубой.

Это основные типы прозрачных стекол, преломляющих свет. Сложные оптические системы, включая оптику глаза, представляют собой различные комбинации трех простых типов линз. Очки, телескопы, фотоаппараты, оптические следящие системы используют те же три типа линз.

Можно измерить *силу* каждой линзы; чем больше меняет линза сходжение лучей света, тем она сильнее.

¹ Кроме луча, проходящего точно через центр лупы и через середины обеих поверхностей; этот луч не меняет направления. — *Здесь и далее прим. перев.*

Единицей измерения является *диоптрия*. Эта единица относится к той же системе мер, что килограмм, метр, минута. Так, линза, собирающая параллельные лучи света в точку (фокус) на расстоянии метра от ее поверхности, имеет силу в $+1$ диоптрию.

Свет излучают различные источники, например Солнце. Страница книги, которую вы читаете, не излучает собственного света, тем не менее вы видите буквы, напечатанные на ней. Как это происходит? Очень немногие из окружающих нас вещей испускают собственный свет. Все остальные мы видим в отраженном свете. Большинство предметов способно отражать свет. Одни отражают света больше, другие — меньше. Очень сильно отражают свет блестящие предметы, очень слабо — тусклые. Количество отраженного света зависит от структуры поверхности предмета. Чем больше света отражает поверхность, тем более ярким кажется предмет.

Огромное значение имеет также направление света, падающего на глаз. По этому направлению мы судим о том, где находится предмет, отражающий свет. Собирательные и рассеивающие линзы не меняют направления, в котором мы видим предметы, а призмы меняют.

Для работы глаза важны три вещи: количество света, длина его волны, направление света. Помните, что основная масса видимого света попадает в глаз, предварительно отразившись от различных предметов. На этой основе наши глаза извлекают в процессе зрения огромное число сведений об окружающем нас мире.

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОПЫТОВ

Главное в опыте — его принцип, а не оборудование. Все наши занятия рассчитаны на использование минимального количества аппаратуры. Вы должны проявить свою изобретательность скорее в наблюдениях, иллюстрирующих работу механизма зрения, чем в построении схем и различных приспособлений.

Но прежде необходимо одно предостережение. Даже если вы можете проверить какую-либо функцию глаза с помощью дырочки, проделанной булавкой в куске картона, это вовсе не означает, что исследуемая

функция совсем простая. Ваш подлинный рабочий прибор — человеческий глаз, и работа, которую этот прибор выполняет, поистине чудесна.

Не следует думать, однако, что несложное оборудование для опытов может быть приготовлено наспех. Напротив, готовьте его с величайшим тщанием, со всей точностью и аккуратностью, на которые вы способны.

Инструкции по подготовке аппаратуры довольно лаконичны. Рассмотрите внимательно иллюстрацию и затем решайте, как вы будете ставить опыт. В большинстве случаев его можно осуществить разными способами. Помните, главное — принцип планируемого опыта. Но, если вы готовите экспонат для выставки, добейтесь того, чтобы аппаратура не только безупречно работала, но и была хорошо оформлена.

Лишь немногие детали, которые вам понадобятся, придется искать специально. Для нескольких опытов необходима большая лупа, почти во всех опытах необходим хороший источник света — карманный или проекционный фонарь, а в опытах с цветом понадобятся два или три таких источника¹. Для двух-трех опытов будет полезен электромоторчик.

Некоторые эксперименты совсем просты, другие — много сложнее. Порядок их изложения не случаен, и лучше выполнять их последовательно. Однако лишь немногие опыты находятся в прямой зависимости от предыдущих.

Задачи наших опытов не ограничены строго, так как главное их назначение — возбудить интерес к исследовательской работе. Остальное — ваше дело. В некоторых случаях указаны пути дальнейшего самостоятельного изучения проблемы.

Ваш школьный учитель будет, конечно, хорошим советчиком. По всей вероятности, вы сможете консультироваться у специалиста по физиологической оптике, то есть по той науке, к которой непосредственно отно-

¹ Обычные карманные фонари не могут быть использованы для опытов со зрением, так как они не дают хорошего пучка света. Для всех опытов применяйте диапроекторы и фильмоскопы. Помните только, что объекты, диафрагмы и т. п. нужно помещать не перед объективом, а на место, предназначенное для диапозитива или пленки.

сятся наши опыты. Этот специалист знаком со всеми явлениями, описываемыми в книге. У него есть линзы, фильтры, стереоскопы и книги по этому предмету, которые не так просто разыскать в обычных библиотеках.

СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

Чтобы правильно толковать результаты исследований и верно оценивать их значение, добросовестный исследователь, прежде чем приступить к опытам, тщательно изучает прибор, с которым он будет работать. Подобное знакомство позволяет избежать ошибок, возникающих из-за погрешностей самого прибора.

Прибор, с которым вы собираетесь работать, — глаз человека. Вам следует знать, из каких деталей он состоит, чтобы понять, как он работает. Вы лучше выполните опыты и получите больше удовольствия, если сначала внимательно прочтете эту главу.

Встаньте чуть сбоку от партнера, чей глаз вы будете рассматривать (расстояние от вашего глаза до рассматриваемого — примерно 15 сантиметров). Очень хорошо, если вы найдете большую лупу — это поможет увидеть больше деталей. Помните, что вы собираетесь изучать зрение и вам необходимо узнать его сложный аппарат.

Форма глазного яблока слегка яйцеобразна¹; его диаметр около 24 миллиметров. Белая часть глазного яблока — *склера*. Это плотная наружная оболочка глаза, защищающая его и придающая ему постоянную форму. Она как крышка футбольного мяча, и назначение ее такое же².

Передняя часть глазного яблока состоит из прозрачной, слегка выпуклой ткани. Это *роговица*. Она соединена со склерой, но кривизна ее несколько больше. Если рассматривать глаз сбоку, это видно лучше, чем если смотреть спереди.

¹ Глаз практически шаровиден: его поперечный диаметр в среднем равен 23,5 миллиметра, продольный — 24 и вертикальный — 23 миллиметра.

² Склера защищает внутренние ткани глаза, и именно поэтому сравнение ее с крышкой пустотелого мяча неудачно.

Роговица совершенно прозрачна: свет легко проходит сквозь нее. Она действует как лупа, и очень сильная — первая живая линза глаза. Роговица обеспечивает около 75% фокусирующей способности глаза. Лучи света, падающие на глаз, например те, что отражены от книжной страницы, входя в глаз, преломляются роговицей. Это значит, что роговица собирает лучи света, входящие в глаз.

Цветная подвижная ткань, которую вы видите за роговицей, — *радужка*. Она бывает коричневой, голубоватой, серой и разных оттенков названных цветов (глаза карие, светло-карие, голубые, серые и др.). Рассмотрите ее получше. Это красивейшая ткань сложной структуры, состоящая из множества тонких нитей и волокон, с замысловатым цветовым узором.

Круглое отверстие в центре радужки — *зрачок*. Это, собственно, просто дырка — сквозь нее свет проходит внутрь глаза.

Радужка содержит пучки мышц, которые способны удлиняться и укорачиваться. Когда кольцевые волокна, окружающие зрачок, сокращаются, зрачок суживается и в глаз проникает меньше света, а когда сокращаются радиальные мышечные волокна, зрачок расширяется и света в глаз попадает больше.

Радужка и зрачок регулируют количество света, проникающего в глаз. Этот механизм работает очень эффективно. Он автоматически реагирует на изменения количества света; считается, что управляют этим механизмом сигналы, посылаемые световоспринимающими клетками глаза.

Радужка представляет собой плоскую поверхность, роговица же выгнута вперед, так что между ними есть пространство; это пространство называют *передней камерой*.

Вряд ли вы хоть на мгновение подумали, что это пространство ничем не заполнено, и правильно. Передняя камера заполнена жидкостью, которой вы не видите просто потому, что она прозрачна; это *водянистая влага*, вырабатываемая в самом глазу. Не будь она прозрачной, свет не прошел бы к зрачку. Как и кровь, эта влага переносит питательные вещества, но в отличие от крови лишена клеток. Она постоянно отте-

кает из передней камеры через проток — *илеммов канал*.

Когда вы смотрите в зрачок другого человека, ваш взгляд падает на поверхность второй живой линзы, называемой *хрусталиком*. Вы не видите хрусталика — он также прозрачен. Внутренность глаза почти не отражает света наружу, поэтому зрачок кажется черным и лежащий за ним прозрачный хрусталик не виден.

Хрусталик — столь же подлинная линза, как и те, что сделаны из стекла или прозрачной пластмассы. Его сила составляет около 25% всей светопреломляющей способности оптической системы глаза¹. Замечательно свойство хрусталика автоматически менять свою преломляющую силу — в результате изображение предмета на дне глаза (на сетчатке) остается четким, когда этот предмет приближается или удаляется по отношению к глазу наблюдателя. Как только изображение на сетчатке становится расплывчатым, возбуждается некий механизм, заставляющий хрусталик изменить форму таким образом, что изображение снова становится четким.

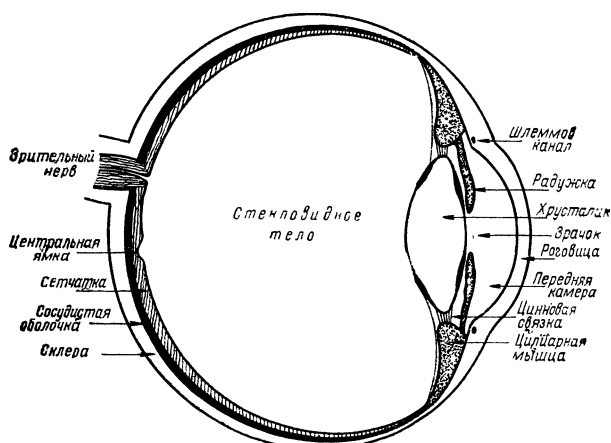
Посмотрите снова на живой глаз, взгляните глубоко в зрачок — помните, вы смотрите в хрусталик глаза. Теперь взгляните на схему 2. Найдите склеру, роговицу, переднюю камеру, радужку, зрачок, хрусталик. Мысленно отметьте эти элементы на живом глазу. На схеме глаз показан так, как будто он разрезан вдоль глазной щели через середину роговицы и вы смотрите сверху на нижнюю половину правого глаза. Разберитесь во всем и хорошо запомните устройство этого замечательного прибора.

На схеме глаз много больше, чем в действительности.

На самом деле толщина хрусталика около 6 миллиметров, а поперечник его примерно 11 миллиметров. Хрусталик управляется *цилиарной мышцей* и прикреп-

¹ Эта система состоит из двух живых линз — роговицы и хрусталика (разделенных передней камерой), — из диафрагмы (то есть радужки, с отверстием в ней — зрачком) и стекловидного тела.

лен к ней особой *цинновой связкой*. При напряжении или расслаблении мышцы хрусталик становится либо менее, либо более выпуклым, и таким образом меняется фокусировка глаза; этот процесс, конечно, далеко не так прост, как он здесь описан. Цилиарная мышца



С х е м а. 2. Горизонтальный разрез глазного яблока.

работает весь день. Это не значит, что она не утомляется. Напротив, во многих случаях людям надо носить очки именно потому, что цилиарной мышце нелегко поддерживать нужную фокусировку хрусталика.

За хрусталиком — большое пространство, заполненное прозрачной студенистой массой, называемой *стекловидным телом*. Стекловидное тело поддерживает постоянство формы глаза; без него глаз спался бы, как мяч, из которого выпустили воздух. Задняя поверхность стекловидного тела плотно соприкасается с сетчаткой глаза.

Сетчатка, вероятно, самая замечательная ткань в организме человека. По размеру и толщине ее можно сравнить с почтовой маркой, но в ней отчетливо различимы десять слоев, каждый из которых играет особую роль. Сетчатка связана непосредственно с мозгом; фактически это ткань мозга, специально приспособленная к переработке энергии света и вынесенная туда, где свет может достичь ее.

В сетчатке около 130 миллионов светочувствительных клеток. От 6 до 10 миллионов из них — клетки, называемые *колбочками*, — служат для различения мелких деталей предметов, а также участвуют в восприятии цвета; функционируют они при дневном свете. Остальные светочувствительные клетки — около 120 миллионов — называются *палочками*. Обычно палочки длиннее и тоньше колбочек, да и функционируют иначе: они не дают возможности различать ни цвет, ни мелкие детали, но зато палочки высокочувствительны к слабому свету (с их помощью зрение работает в сумерках и ночью).

Колбочки и палочки распределены по поверхности сетчатки неравномерно. Поэтому не все участки сетчатки одинаковы. В этом легко удостовериться: чтобы хорошо разглядеть предмет, вам надо «прицелиться» в него глазом, то есть установить свой глаз так, чтобы изображение предмета попало на *центральную ямку* «желтого пятна». Именно этот маленький участок сетчатки обеспечивает наиболее острое зрение. Он битком набит колбочками, и у каждой есть свое отдельное нервное волокно, проводящее импульсы в мозг. Палочек на этом участке практически нет¹.

Рассмотрите получше на схеме, где находится центральная ямка. Чтобы понять некоторые опыты, очень важно знать ее положение и функцию. Промежуточные нервные волокна и нервные клетки в сетчатке служат, по-видимому, для того, чтобы сжать информацию, собранную всеми 130 миллионами колбочек и палочек, — иначе ее не передашь всего лишь миллиону волокон, по которым нервные импульсы уходят вдоль *зрительного нерва* в мозг. Представьте себе, какая гигантская работа должна быть проделана для этого! Ведь число колбочек и палочек более чем в 100 раз превышает число волокон в зрительном нерве.

¹ Когда говорят, что глаз «фиксирует» предмет, подразумевается именно тот случай, когда изображение предмета проецируется на центральную ямку сетчатки. Это происходит практически во всех случаях, когда вы смотрите «прямо на предмет». «Луч зрения», «зрительная линия», «линия фиксации» и т. д. — все это воображаемые линии, соединяющие точку на предмете с центральной ямкой сетчатки.

Глаз сам по себе не видит. Глаз превращает в сигналы падающий на него свет, как-то преобразует эти сигналы и посылает их в мозг. «Видит» на самом деле наш мозг. Как возникают сигналы, когда свет попадает на сетчатку? Как мозг преобразует эти сигналы в зрительные образы?

Полных ответов на эти вопросы наука не знает. Однако кое-что о работе сетчатки теперь известно. Свет можно представить как поток мельчайших частиц, движущихся с огромной скоростью, несущих энергию. Эти частицы врываются в сетчатку, как дробинки из ружья незадачливого охотника, выпалившего в глубь леса. Одни частицы ударяют в плотные молекулы вещества, содержащегося в зрительных клетках, другие пролетают мимо.

Как ни странно, колбочки и палочки обращены в глубь сетчатки, прочь от света; они утыкаются в ткань, которая поглощает частицы света, пролетевшие мимо зрительных клеток. Возможно, это способствует формированию четкого изображения на сетчатке. Палочки и колбочки немного похожи на миниатюрные электробатареи. Когда в молекулы содержащихся в них веществ попадают частицы света, светочувствительная клетка посылает электрический разряд. Сила разряда зависит от того, сколько света попадает на активные молекулы. Свет высвобождает энергию, которая уже содержится в зрительном веществе.]

Но если бы глаз в самом деле работал просто как электробатарея, он постепенно истощился бы. Этого не происходит, так как имеется механизм «подзарядки». Под действием света химическое равновесие нарушается. Для его восстановления, конечно, необходима энергия. Она подается в виде питательных веществ по системе кровеносных сосудов и межклеточных пространств. Обильное кровоснабжение осуществляется через *сосудистую оболочку*, лежащую между сетчаткой и склерой.

Зрительные клетки сетчатки посылают нервные импульсы в виде электрохимических изменений, которые передаются по зрительному нерву, представляющему собой как бы линию связи глаза с мозгом. Зрительный нерв каждого глаза содержит около миллиона волокон,

несущих нервные импульсы к высшим зрительным центрам.

Взгляните еще раз на схему и запомните место, где зрительный нерв выходит из глаза. Там же в глаз входят кровеносные сосуды. Со стороны сетчатки этот участок называется *диск зрительного нерва*. Диск имеет форму вертикального овала, слегка вытянутого. Состоит он только из нервных волокон и кровеносных сосудов — ни палочек, ни колбочек в этом месте сетчатки нет.

Положите пальцы на затылок чуть выше шеи и над краем черепа вы легко прощупаете шишку. Главные зрительные участки мозга находятся в этом месте. Сюда в конце концов приходят нервные импульсы из сетчатки.

Мозг разделен на две половины. Каждая имеет собственную зрительную зону. Правая половина мозга получает сигналы от правой половины сетчатки каждого глаза, левая половина мозга — от левой половины обеих сетчаток. Мы не знаем, как и где обе половины единого образа точно объединяются в мозге.

Нервные импульсы из глаза попадают в миллионноклеточные структуры мозга. Здесь выполняется множество операций, подобных тем, которые происходят в электронных машинах: отбор, классификация, усиление, просеивание импульсов. Нервные импульсы от сетчатки идут и к другим частям мозга. Сокращение многих мышц тела в конечном счете происходит в ответ на световое раздражение сетчатки глаза. Например, когда вы видите летящий на вас мяч, вы стараетесь поймать или отбить его.

Зрение — чрезвычайно сложный процесс. Химические и электрические явления в сетчатке, передача нервных импульсов по зрительному нерву и его ответвлениям, деятельность клеток в зрительных зонах мозга — все это составные части единого процесса. Никто не знает точно всех его звеньев.

Когда речь идет о человеческом зрении, надо помнить еще вот о чем. В зрении участвуют два глаза. Глаза снабжены мышцами, которые работают согласованно при движениях обоих глаз. Вы смотрите на один предмет, но получаете два изображения — по одному

для каждого глаза. Оба они сливаются в один образ. Это сложный процесс, зачастую дающий удивительные результаты, называется он *слияние*, или *фузия*.

Экспонат для выставки

Чтобы лучше разобраться в устройстве человеческого глаза, соберите пластмассовую модель. Образец можно также отыскать в магазинах учебных пособий для медицинских вузов.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

Лишь немногие из опытов, описываемых в нашей книге, дают *объективные* результаты, запечатленные в изменениях материальных объектов. Вы, вероятно, проделали много подобных опытов в школьных лабораториях — результаты их не зависели ни от ваших знаний, ни от реакций ваших органов чувств.

Большинство опытов со зрением дает чисто *субъективные* результаты, которые зависят не только от характера наблюдаемых материальных явлений, но и от собственных реакций наблюдателя, от его впечатлений, ощущений, представлений. Они связаны с деятельностью организма наблюдателя, с его воспринимающими сенсорными механизмами.

Например, вы освещаете глаза наблюдателя кратковременной яркой вспышкой света. В наступившей затем темноте он видит цветные пятна — последовательные образы — и сообщает вам об этом, но сами вы их не видите. Результат эксперимента чисто субъективен — и субъектом является наблюдатель. Вы можете вызвать последовательные образы в собственном глазу; результат и в этом случае субъективный, только субъектом в данном случае являетесь вы сами.

Важно помнить, что субъективные результаты могут быть разными у разных людей — люди не всегда воспринимают одни и те же предметы и явления одинаково. И в опытах со зрением не у всех будут одинаковые результаты. Следует быть очень осторожными в выводах о «недостатках» зрения, если кто-либо не смог получить определенных результатов в тех или иных опытах. Цель опытов совсем иная, хотя в отдельных

случаях они могут быть проведены для того, чтобы выявить дефекты зрения.

Все задания рассчитаны на нормальное зрение. Тем не менее для большинства опытов очень малое значение имеют такие дефекты оптики глаз, как близорукость, дальнорукость или астигматизм. Все, кто привык носить очки, исправляющие недостатки зрения, должны пользоваться ими и при выполнении опытов¹; впрочем, если зрение вдаль нормально или почти нормально, очки вообще не понадобятся.

Таким образом, при выполнении опытов даже наблюдатель, имеющий дефекты зрения, может получить хорошие результаты. Если кто-либо сомневается в отношении нормальности своего зрения, он должен обратиться за советом к специалисту, а не полагаться на результаты наших опытов.

Ни один из описываемых опытов не может причинить зрению ни малейшего ущерба, но после слишком долгих занятий глаза утомляются. Впрочем, упражнения глазных мышц и фузии в ходе опытов скорее, наоборот, могут дать благоприятный эффект, хотя опыты и не рассчитаны специально для лечения глазных дефектов. Правда, некоторые из них используются для тренировки зрения, для повышения точности и скорости зрительного восприятия.

При проведении многих опытов необходима полная согласованность работы обоих глаз. Для некоторых эти опыты, безусловно, окажутся трудными, к тому же здесь не миновать расхождений в точной оценке результатов. Особенно внимательно нужно подходить к выполнению тех заданий, где вы будете изучать одновременное зрение обоими глазами в специальных условиях; вероятно, потребуется специальная тренировка — иначе во время опыта один глаз будет как бы «отключаться». Точно так же, возможно, придется практиковаться для того, чтобы при других условиях суметь различать двойные изображения. Во всех случаях не торопитесь с оценкой результатов.

В опытах, где большое значение имеет фокусировка глаза на близкое расстояние, важен возраст наблюда-

¹ За исключением случаев, специально оговариваемых в дальнейшем.

теля. Люди моложе 40 лет, как правило, проделывают такие опыты легко, но для тех, кто старше, не исключены затруднения при попытке рассмотреть очень близкие предметы. Поэтому имейте в виду, что в опытах с фокусировкой нельзя ожидать одинаковых результатов у молодых и пожилых людей.

Кроме того, запомните — не существует «неправильных» ответов. Каждый человек видит то, что видит, — больше ничего об этом и не скажешь. Для каждого собственное восприятие «правильно». Конечно, большинство людей видит в основном одинаково, но не все соответствуют некой искусственной «средней норме».

Проделявая опыты, вы узнаете многие важные принципы научного исследования. В некоторых случаях, направляя действия наблюдателя, вам следует повторить опыт несколько раз (может быть, пять или десять), а затем усреднить результат (например, устанавливая колышки в опыте с восприятием глубины). Некоторые принципы и приемы будут пояснены в соответствующих местах.

Поскольку опыты в большинстве своем имеют субъективную природу, необходимо научиться точно фиксировать свои ощущения и впечатления. Досконально соблюдайте все указания. По мере тренировки вы будете получать все более точные результаты. Постарайтесь приблизиться к идеальным условиям каждого опыта. Здесь потребуются подлинно научный подход.

Старайтесь отметить мельчайшие изменения видимых вами объектов и изображений. Записывайте свои наблюдения. Помните, что результат зависит не только от объектов, меняющихся по строгим физическим законам, но и от самого наблюдателя.

Знаете ли вы, что значит *раздражитель*? Это то, что вызывает возбуждение в чувствующих (сенсорных) системах организма. Раздражителем для глаза является свет или любой предмет, отражающий свет, — вообще все, что способно вызвать зрительное ощущение. При описании опытов мы будем часто употреблять слово «раздражитель» либо равнозначное ему слово *стимул*. Вы будете наблюдать субъективные результаты действия зрительных раздражителей.

Во время опыта не следует торопиться. Пусть глаза привыкнут к условиям опыта. Постарайтесь устра-

нить все отвлекающие раздражители — зрительные и слуховые. Насколько это в ваших силах, создайте ровный фон для рассматриваемых предметов. Работайте с той же точностью, с какой ученый выполняет свои эксперименты в настоящей лаборатории. Ваш главный рабочий инструмент — человеческий глаз — один из тончайших приборов, существующих в природе.

ЧАСТЬ II

ОПЫТЫ

ОПЫТ 1. ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

Оборудование: картон, кусок стекла, зеркало, лучевой ящик

Включите фонарь в затемненной комнате. Пучок света от фонаря вы увидите особенно отчетливо, если в воздухе есть немного пыли или дыма. Края пучка ограничены прямыми линиями. В фонаре без линз ширина пучка и степень его расширения зависят от кривизны рефлектора, отражающего свет лампочки фонаря вперед.

Поставьте поперек пучка света кусок черного картона. Вас не удивляет, конечно, что картон «отрезает» свет. Но почему это происходит? Частицы, несущие световую энергию, ударяются в молекулы картона или другого какого-либо твердого материала и останавливаются. В таких случаях говорят, что свет *поглощается*.

Поставьте поперек светового пучка кусок стекла. Что происходит? Почему на этот раз свет не отрезан? Впрочем, внимательно оглядев комнату, вы заметите свет, *отраженный* от стекла; измените наклон стекла, и вы увидите: в зависимости от наклона пятна отраженного света перемещаются по стенам, полу, потолку. Но отраженный свет гораздо слабее, чем проходящий сквозь стекло.

Вы увидели, что такое частичное отражение света. Как показано на рис. 1. 1, часть пучка света отбрасывается от поверхности тел, другая — проходит *насквозь*.

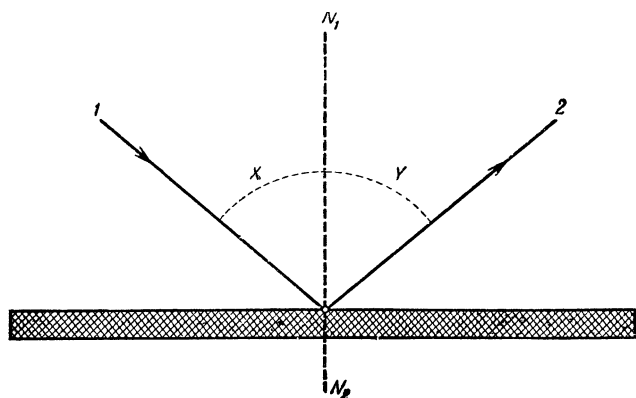


Рис. 1. 1. Отражение света. Падающий луч (1) отскакивает от поверхности, превращаясь тем самым в луч отраженный (2). Если луч падает перпендикулярно поверхности от N_1 и N_2 , то и отраженный луч пойдет по тому же направлению, только в противоположную сторону — от N_2 к N_1 . Насколько отличается от перпендикулярного направление падающего луча, настолько же отклонится от перпендикуляра и отраженный луч, идущий в противоположном направлении; углы X и Y всегда равны.



Рис. 1. 2. Щели в передней стенке ящика позволяют получить **лучевые** тени для демонстрации принципов отражения света.

А теперь поставьте в пучок света зеркало. Поверните его так, чтобы пятно света оказалось на потолке. Это пятно ярче того, что было отражено простым стеклом. Здесь происходит не частичное, а полное отражение света; сквозь зеркало свет не проходит. Запомните — любая блестящая поверхность отражает свет. Это относится и к линзам, и к гладкой поверхности человеческого глаза.

Экспонат для выставки

Возьмите картонную коробку размером около 30 сантиметров в длину, 20 в ширину и 10 сантиметров в высоту. В узкой стенке коробки вырежьте окошко. К нему приклейте (вертикально) полоски черного картона или плотной бумаги так, чтобы получилась «гребенка». Свет от любого фонаря с рефлектором (или солнечный свет) нарисует лучевые узоры на дне коробки (рис. 1. 2). Вы можете менять узоры, устанавливая внутри коробки перегородку непрозрачную, — либо отражающую свет частично, или полностью. Легко заметить, как меняется лучевой узор, когда вы поворачиваете перегородку, варьируя угол падения и угол отражения света.

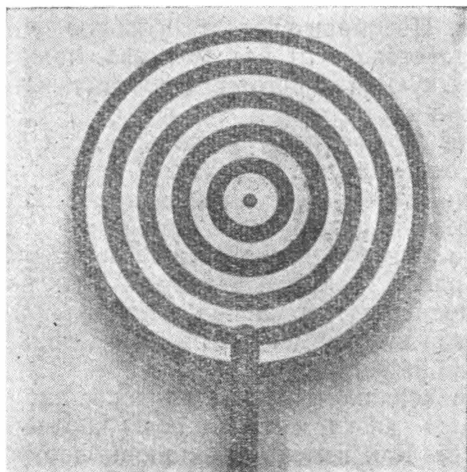
Существует множество способов выполнения этого опыта. Постарайтесь использовать несколько источников света; можно также окрасить дно коробки не в белый, а в другие цвета.

ОПЫТ 2. ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА ГЛАЗОМ ЧЕЛОВЕКА

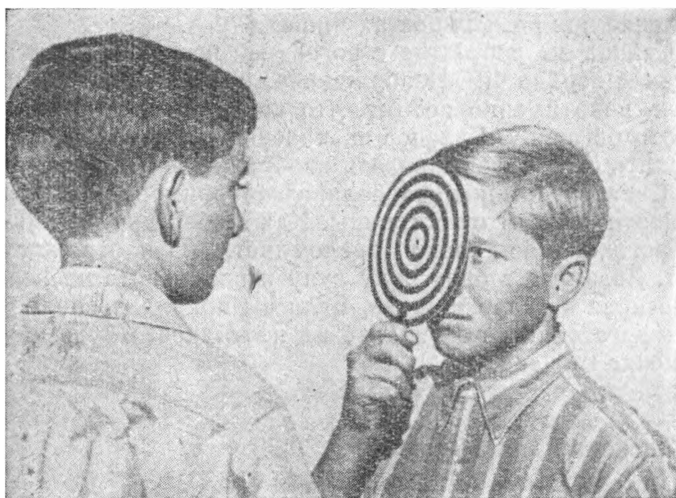
Оборудование: картонные диски — черно-белые и цветные, лупа

Пусть ваш партнер смотрит прямо перед собой, а вы смотрите на его глаз сбоку. Заметьте, что передняя часть глаза — роговица — состоит из прозрачной ткани и выгнута вперед. Она работает как мощная линза, пропускающая и фокусирующая свет.

Большая часть света, падающего на глаз, проходит сквозь роговицу внутрь глаза, но часть света от нее



Р и с. 2. 1. Через отверстие в центре диска можно наблюдать отражение диска на роговице глаза.



Р и с. 2. 2. Экспериментатор располагается в 20—30 сантиметрах от партнера, глаз которого он рассматривает через отверстие в центре диска.

отражается. Подобрав соответствующую «картинку» и выбрав расстояние от нее до глаза, можно определить оптическую силу роговицы по тому, как отражается в ней эта картинка.

Сделайте черно-белую мишень — диск диаметром около 12,5 сантиметра (рис. 2.1). В центре прорежьте дырочку диаметром 3—5 миллиметров. Прикрепите ручку. Смотрите прямо через отверстие в диске на глаз вашего партнера на расстоянии примерно 25 сантиметров (рис. 2.2). Мишень должна быть хорошо освещена. Следите за отражением мишени на роговице глаза — когда вы перемещаете мишень, движется и ее изображение на роговице.

Укажите кончиком пальца на какое-либо место в верхнем краю диска, и пусть ваш партнер смотрит на это место. Как изменилась теперь форма отражения мишени на роговице? Попробуйте то же самое, указывая пальцем на правую, левую половину диска, нижнюю часть. Вы убедитесь, что роговица на самом деле не шаровидна, а слегка конусообразна. Проверьте теперь, как изменится изображение диска на роговице, если мишень будет цветной. Как выглядит изображение при разных цветах мишени?

Сейчас вы работаете с роговицей не как с линзой, а как с зеркалом. Изображение мишени видно не очень ясно именно потому, что часть света проходит сквозь роговицу. Главное назначение роговицы — преломлять свет и формировать изображение внутри глаза. Светопреломляющая сила глаза примерно на три четверти зависит от роговицы. Как любая другая линза, роговица не только преломляет, но и отражает свет. Возьмите в одну руку лупу и посмотрите на нее, приставив к глазу мишень. Если вы правильно подберете расстояние, вы увидите на поверхности лупы отражение мишени.

Экспонат для выставки

Изготовьте различные мишени и сделайте модель роговицы, глядя на которую посетители смогут увидеть отражение мишеней. Для демонстрации отраженных изображений используйте самые разнообразные

изогнутые поверхности — металлические или мраморные шарики, лупы, стекла очков — любые блестящие поверхности.

ОПЫТ 3. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

Оборудование: лучевой ящик, источник света, лупа, небольшой картонный экран

Прежде чем приступить к этому опыту, убедитесь еще раз в том, что вы хорошо понимаете законы преломления света.

Используйте ту же коробку, что и в предыдущем опыте. Можно повернуть ее окошко к яркому лучу солнечного света — получится великолепный лучевой узор. Обратите внимание на то, что лучевые тени при очень далеком источнике света (а Солнце практически можно считать бесконечно удаленным источником¹) параллельны.

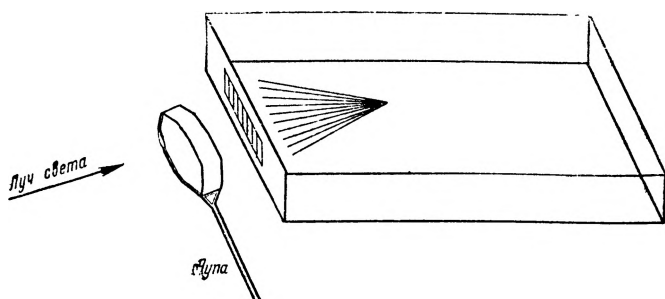
Поставьте перед окошком большую лупу (рис. 3.1). Подберите такое расстояние между лупой и окошком, чтобы получился хороший лучевой узор. Итак, что же получается? Почему образуется такой лучевой узор?

Вы видите, что лучи света пересекаются в определенной точке — фокусной точке линзы (лупы). Ее удаленность от линзы зависит от оптической силы последней. Можно использовать не Солнце, а обычный источник, но тогда лучи света не будут вполне параллельными (рис. 3.2).

Изучите получше вашу лупу. Вы сразу видите, что в середине она толще, чем по краям. Это собирательная линза. Вспомните, что сделала она с лучами света: преломила их так, что лучи сблизилась, конвергировали к одной точке — фокусу. Как вы думаете, почему это произошло?

Если у вас есть линзы разной силы, поработайте с каждой из них. Возможно, вы сумеете найти линзу

¹ Далеко не во всех случаях. Например, если вы заслоните рукой часть освещенной солнцем стены, то тень руки на стене будет резкой только вблизи от стены. Отодвиньте руку — и появятся полутени; еще увеличьте расстояние — тень пропадет вовсе. Будь лучи параллельны — тень была бы резкой на любом расстоянии.



Р и с. 3. 1. Если на лупу падает параллельный пучок лучей света, то расстояние от лупы до той точки, где прошедшие сквозь нее лучи собираются воедино, и есть фокусное расстояние лупы.



Р и с. 3. 2. Когда опыт ставится в затемненной комнате, лучевые узоры хорошо видны на задней стенке ящика, если свет от какого-либо источника проходит сквозь лупу и щели в передней стенке. На рисунке эти узоры не видны, так как при фотографировании комната была освещена яркой вспышкой.

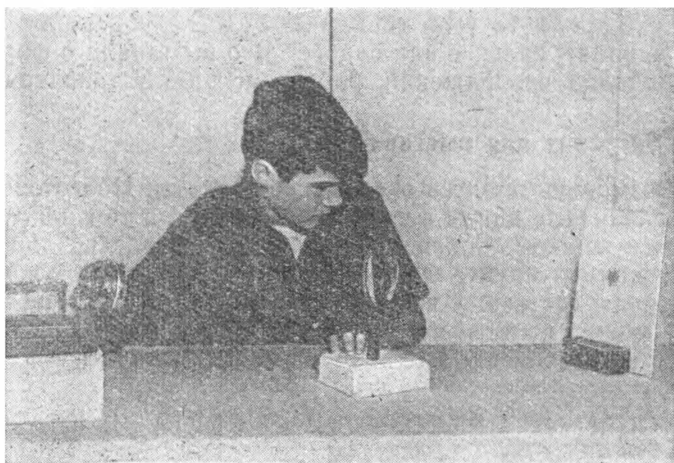


Рис. 3. 3. В затемненной комнате подберите такое расстояние между источником света, лупой и экраном, при котором на экране получается наиболее резкое изображение.

рассеивающую, дивергирующего действия. Лучше если это будут достаточно сильные линзы. И отверстие в коробке вам придется уменьшить, потому что ваши линзы в большинстве будут, вероятно, небольшого диаметра.

Лупа, как и любая собирательная линза, дает истинное изображение. Приблизьте линзу к отверстию — и на листе бумаги, который служит экраном, вы получите изображение отдаленных предметов. Прямое это изображение или перевернутое? Объясните, почему.

Установите источник света, большую лупу и экран, как показано на рис. 3. 3. Вырежьте из картона звездочку и прикрепите ее к источнику света.

Перемещая лупу, вы узнаете многое о фокусировке и преломлении света. Используйте самые различные предметы. Что происходит, если предмет приблизить к лупе? Надо ли при этом приближать или отодвигать экран, чтобы получить четкое изображение? А если у вас есть лупы разной силы, то какую надо взять лупу, чтобы получить четкое изображение более близкого

к лупе предмета (при постоянном расстоянии от лупы до экрана), сильнее или слабее? Что вы узнали о формировании изображений, работая с этой установкой?

Экспонат для выставки

Возможности здесь очень разнообразны. Подготовьте различные линзы в сочетании с одним и тем же лучевым ящиком. Соберите систему из нескольких линз. Экспериментируйте и наблюдайте. Идея «оптической скамьи», состоящей из источника света, линзы и экрана, может быть использована во многих вариантах. Пусть поработает ваше воображение.

ОПЫТ 4. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА В ГЛАЗУ ЧЕЛОВЕКА

Оборудование: источник света, лупа, картонный экран, маска для линзы

Проекционный фонарь — прекрасный источник света для некоторых опытов. Установите лупу и экран, как на рис. 4. 1. Вместо проекционного можно, конечно, использовать и хороший карманный фонарь. Вырежьте кусок картона того же размера, что и лупа. Эту маску надо либо прикрепить к лупе лентой, либо просто придерживать возле нее, когда это потребуются.

Сначала прорежьте в картоне два отверстия (очень удобен дырокол для подшивки бумаг) так, чтобы оба оказались в пределах светового круга, проектируемого через лупу на экран. Вы получите перфорированную маску. Сначала отложите маску и найдите положение лупы и экрана, при котором изображение источника света будет не в фокусе.

А теперь приложите к лупе перфорированную маску. Что получается на экране? Два крошечных изображения расположены далеко друг от друга, потому что система не сфокусирована. Передвиньте экран так, чтобы изображения обоих отверстий полностью совпали.

Это произойдет, когда расстояние от экрана до лупы станет равным фокусному расстоянию лупы.



Рис. 4. 1. Два отверстия в картонной маске, закрывающей лупу, следует поместить так, чтобы расстояние между ними было меньше диаметра светового пятна, проектируемого на экран. Это пятно будет тем больше, чем дальше экран от проектора.

Если экран слишком близко — расстояние до него меньше фокусного, значит, лупа недостаточно сильна: система «дальнозоркая». Дальнозоркий глаз имеет недостаточно сильную оптику; без напряжения дальнозоркий глаз не получает четкого изображения, причем последнее тем менее четко, чем ближе рассматриваемый предмет, — зрение вдаль лучше, чем вблизи (отсюда и название дальнозоркий). Но между вашей установкой и оптикой глаза есть существенная разница: последняя регулирует свою фокусировку автоматически.

Отодвиньте экран на расстояние, большее фокусного. Вы снова получите удаленные друг от друга изображения двух отверстий. Оптическая сила лупы теперь слишком велика; система «близорука» — подобно тому, как близорук глаз, оптическая система которого слишком сильна: фокусное расстояние меньше, чем расстояние до сетчатки.

Помните — это всего лишь аналогия. Для того чтобы лучше моделировать условия преломления света в глазу, надо проделать еще ряд действий с вашей установкой.

Не меняя расстояния между лупой и экраном (последний находится точно на фокусном расстоянии), двигайте объект (источник света), то приближая его к лупе, то отдаляя от нее. В первом случае расхождение отверстий показывает, что система «дальнозоркая» (объект находится слишком близко), во втором случае система «близорука» — объект слишком отдален.

Что произойдет, если, сохраняя неизменным положение объекта и экрана, перемещать лупу? Что вы узнали об изображениях и оптических системах при такой постановке опыта? Какому элементу оптической системы глаза соответствует подвижная лупа?

В квадратном куске плотного черного картона (сторона квадрата около 5 сантиметров) тонкой булавкой сделайте две дырочки на расстоянии примерно 2,5 миллиметра одна от другой — расстояние между дальними краями дырочек должно быть меньше, чем диаметр вашего зрачка. Не огорчайтесь если с первой попытки у вас это не получится. Обязательно проследите, чтобы края дырочек были четкими и правильными.

На куске белого картона нарисуйте прямую линию и повесьте его на стену так, чтобы линия была горизонтальной на уровне ваших глаз. Станьте примерно в 120 сантиметрах от стены и смотрите на линию одним глазом через обе дырочки в черном картоне, расположив их вертикально. Если ваш глаз точно сфокусирован к расстоянию, с которого вы ведете наблюдение, вы увидите одну линию, если нет, то две.

Булавку держите примерно в 30 сантиметрах перед глазом, как показано на рис. 4.2; посмотрев на нее, вы заметите, что горизонтальная линия на стене как бы раздвоилась. Поверните картон так, чтобы дырочки расположились горизонтально. Посмотрите на горизонтальную линию. Булавка «раздвоилась». Почему? Как вы думаете, близорук или дальнозорек ваш глаз по отношению к расстоянию до булавки, когда вы

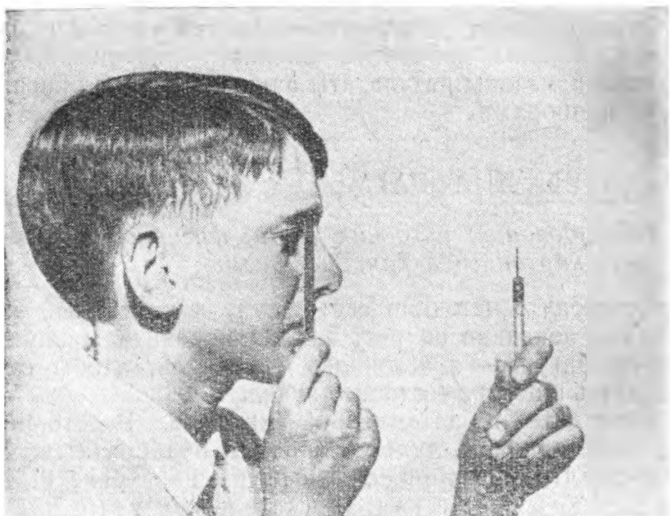


Рис. 4. 2. Полоску картона с двумя булавочными отверстиями держите как можно ближе к глазу (второй глаз закрыт).

смотрите на булавку, и наоборот? Опыт получится хорошо лишь у человека не старше 40 лет. Помните, что смотреть надо через обе дырочки сразу.

По тому, как двоится отдаленный предмет, можно определить фокусировку глаз к данному расстоянию. Прикройте одну из дырочек и обратите внимание, какое из двух изображений пропадет. Это не так-то просто. Надо помнить, что изображение предмета на сетчатке глаза перевернуто и нижней части предмета соответствует верхняя (на сетчатке) точка изображения¹. Проверьте это на установке объект — лупа — экран, собранной вами ранее.

Экспонат для выставки

С помощью лупы и маски с двумя отверстиями можно очень эффектно демонстрировать некоторые оптические явления, приложимые и к оптике глаза,—

¹ Разобраться помогает простая схема, приведенная в конце книги (рис. П. 1: «Опыт Шейнера»).

главным образом соотношение объекта и его изображения. Хорошо дополнить экспонат рисунками, на которых показаны результаты ваших опытов с описанными приборами.

ОПЫТ 5. ДИАФРАГМЫ

Оборудование: источник света, фигурные маски, лупа, картонный экран, диафрагмы

Установите источник света, лупу и картонный экран, как показано на рис. 5. 1. Прикрепите маску — черную фигуру — к источнику света так, чтобы она оказалась в центре светового пучка.

Работайте в затемненной комнате. Расстояние между источником, лупой и экраном подберите таким образом, чтобы изображение фигуры на экране было как можно более четким. Внимательно изучите полученное изображение. Четкие ли у него края? Вместо простой фигуры поставьте фестончатую. Различаете

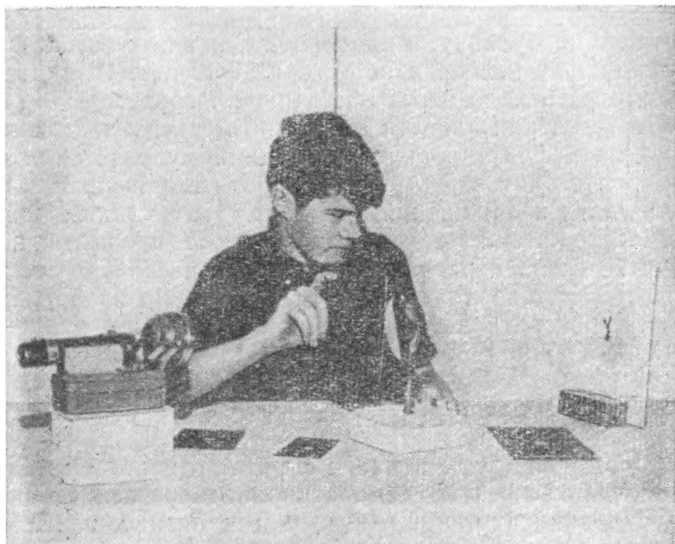


Рис. 5. 1. Черное изображение на экране очень четкое — у вас такой четкости не получится.

ли вы все детали изображения? Обратите внимание на его яркость в центре и по краям.

Прорежьте в картоне несколько отверстий разных размеров: с 5-, 2-, 1-копеечную монету и с булавоочную головку; кусок картона с одним из указанных отверстий будет служить диафрагмой. Ставьте перед лупой разные диафрагмы и смотрите, как меняется изображение.

У большинства линз края оптически менее совершенны, чем центральная часть. Но чем меньше отверстие диафрагмы, тем меньше количество света; а булавоочное отверстие может оказаться даже помехой для получения четкого изображения. Зато при иной постановке опыта булавоочное отверстие само фокусирует свет и дает изображение без всякой линзы. Правда, это изображение хуже того, которое получается с лупой. Возьмите круглую картонную коробку (вроде тех, в каких продают конфеты «Лимонные дольки»). Открытый конец затяните бумагой и закрепите ее аптекарской резинкой. В донышке коробки, по возможности в центре, толстой булавкой или иголкой проткните отверстие.

Направьте отверстие на пламя свечи (рис. 5. 2). Подберите расстояние до свечи так, чтобы получить изображение пламени на бумаге. Разберитесь, почему изображение перевернуто и как вообще получается изображение без линзы. Это простое устройство — камера-обскура. Теперь вы познакомились с очень важным фактором: диафрагмы улучшают фокусировку. Это верно для всякой оптической системы, в том числе и для оптики глаза.

Вы можете увеличить четкость собственного зрения, используя диафрагму с булавоочным отверстием; это особенно заметно, если без диафрагмы ваш глаз видит предмет нечетко. Проверьте себя и членов вашей семьи; те из них, кто при чтении пользуется очками, пусть попробуют читать без очков, глядя через булавоочное отверстие.

Два картонных кружка с булавоочными отверстиями — ваши картонные очки; в каждом кружке проделайте по несколько отверстий. Попробуйте носить такие очки на улице. Посмотрите вдаль, приложив к



Р и с. 5. 2. В совершенно темной комнате рассмотрите изображение пламени свечи, которое получится в вашей камере-обскуре.

глазу лупу,— вы все видите нечетко; теперь посмотрите через ту же лупу, приложив ее снаружи к вашим дырчатым картонным очкам.

Экспонат для выставки

Можно подготовить установку со сменными диафрагмами и демонстрировать влияние размера отверстия на качество изображения. Легко организовать опыт так, чтобы его наблюдала целая группа людей одновременно и зрители могли самостоятельно менять диафрагму.

ОПЫТ 6. ЖИВАЯ ДИАФРАГМА — ЗРАЧОК

Оборудование: картон с малым отверстием, лупа, фонарь

В слабоосвещенной комнате рассмотрите зрачок глаза вашего партнера. Обратите внимание на ширину зрачка; встаньте поближе, чтобы ясно видеть зра-

чок (очень помогает при этом лупа). А теперь включите лампу либо осветите фонарем другой глаз, как показано на рис. 6. 1. Что произошло?

Внимательно следите за краем зрачка — вы заметите его тонкие движения. Обратите внимание на то, что изменение освещения одного глаза вызывает одинаковые изменения обоих зрачков: усиление света приводит к сужению, ослабление — к расширению зрачков. Внимательно изучите эти зависимости¹. Сравните ширину зрачка одного и того же человека, когда он находится под открытым небом и в затемненной комнате.

Понаблюдайте за тем, как ваш собственный зрачок изменяет размер. В полоске картона толстой булавкой

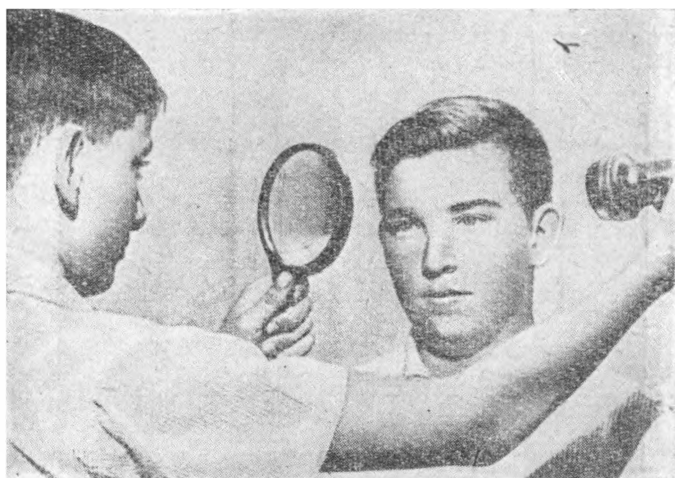


Рис. 6. 1. Свет, направленный на левый глаз, заставляет суживаться не только левый зрачок (прямая реакция зрачка), но и правый (содружественная реакция зрачка). После отключения дополнительного освещения зрачки обоих глаз расширяются. В комнате не должно быть слишком светло, иначе дополнительное освещение от фонаря не даст ярко выраженной зрачковой реакции.

¹ Начертив особую линейку на прозрачной пленке или пластинке, как показано на рис. П. 2, вы можете даже измерить диаметр зрачка; очень интересно также установить диапазон изменений ширины зрачка в зависимости от освещенности.

проколите дырочку на расстоянии 2,5 сантиметра от края. Затемните комнату, оставив лишь щель у одного из окон, чтобы можно было смотреть на небо. Сначала побудьте несколько минут в полумраке комнаты, чтобы ваши глаза привыкли к полутьме.

Прикройте левый глаз ладонью (рис. 6. 2), а к правому приложите полоску картона и через дырочку в ней смотрите на ясный участок неба. Картон прижмите плотнее к лицу, чтобы отверстие было перед самым глазом. Запомните, каким вам кажется отверстие. Отнимите ладонь от левого глаза — вы заметите, что величина отверстия изменяется. Уменьшается оно



Рис. 6. 2. Понаблюдайте размер собственного зрачка, глядя одним глазом через малое отверстие. Смотрите в окошко на ярко освещенную улицу.

или увеличивается? Снова прикройте левый глаз. Что происходит — как меняется величина отверстия?

Видимая величина отверстия меняется потому, что сужается или расширяется зрачок. Он работает как диафрагма, регулирующая количество света, поступающего в глаз.

Сделайте очень маленькое треугольное отверстие в том же месте картонной полосы, что и раньше. Смотрите через него одним глазом. Поднесите картон вплотную к глазу — отверстие кажется круглым; круглая форма отверстия в этом случае определяется тем, что сам зрачок круглый.

Экспонат для выставки

Можно сделать зарисовки зрачка при различном освещении. Разъясните, как работает зрачок и каково его значение для зрения. Очень наглядна пластмассовая модель глаза.

ОПЫТ 7. ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

(ХРОМАТИЧЕСКАЯ ДИСПЕРСИЯ)

Оборудование: зеркало, плоский тазик с водой

Призма — это клиновидный кусок стекла. Свет, проходящий через призму, отклоняется (см. схему 1). Но не всякий свет отклоняется одинаково. Чем меньше длина волны, тем больше замедление света в стекле, тем сильнее свет отклоняется призмой. Поэтому призма «разворачивает» белый свет, разлагает его на разные цвета спектра.

В качестве призмы можно использовать край стеклянного листа, зеркало или даже кусок прозрачной пластмассы. Возможно, вы разыщете где-нибудь настоящую призму. Чтобы увидеть, как призма отклоняет свет, используйте лучевой ящик; обратите внимание — призма не фокусирует света.

Налейте в плоский тазик воды и положите зеркало так, чтобы один конец его опирался на край тазика, а другой был под водой (рис. 7. 1). Тогда масса воды над зеркалом, имеющая форму клина, будет работать как призма. Устройте так, чтобы луч солнечного света

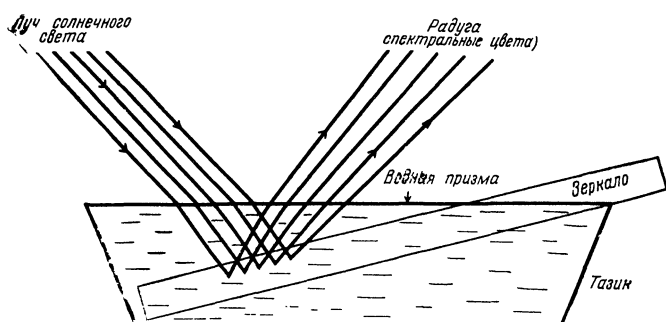


Рис. 7. 1. Слой воды над зеркалом образует призму. Отклоненный свет, разложенный призмой на составляющие, отражается в зеркале и выходит в воздух в виде радужного спектра.

упал на поверхность воды в тазике. Пройдя сквозь воду, свет отражается от зеркала, и вы видите это отражение на потолке или на стене.

На какое явление природы похоже разложение солнечного света, прошедшего сквозь призму? Разберитесь в этом как следует. Запомните, в каком порядке следуют друг за другом цвета. Какой цвет преломлен сильнее всех, какой — слабее всех?

Поверните водяную призму на 180 градусов (то есть на половину окружности тазика). Переменили цвета свою последовательность? Красный цвет по-прежнему совпадает с вершиной (тонким концом) призмы?

Изучаемое нами явление называется дисперсией света, или хроматической дисперсией. Ее можно было бы заметить и раньше, в опыте 3. Если в качестве источника света вы использовали Солнце, скорее всего вы получили не четко сфокусированную точку, а просто пятно с разными цветовыми оттенками. Повторите опыт 3 и проверьте это. У многих линз довольно большая хроматическая абберация¹, и вы легко заметите разницу в фокусировке красного и голубого цветов, причем остальные спектральные тона окажутся меж-

¹ Объяснение хроматической абберации и других терминов см. в Послесловии.

ду ними. Передвигая экран то ближе к призме, то дальше, вы ясно обнаружите это.

Выясняется, что не только призмы, но и линзы разлагают белый свет. Величина хроматической дисперсии зависит от того, какими линзами вы пользуетесь. Оптические системы обычно рассчитаны так, чтобы как можно полнее устранить хроматическую aberrацию. Для этого комбинируют линзы из разного стекла и разной преломляющей силы так, чтобы оттенки света, имеющие разную длину волны, фокусировались в одной и той же точке.

Экспонат для выставки

Сделайте призму для иллюстрации эффекта хроматической дисперсии света. Можно устроить так, чтобы одна призма разлагала белый свет на цвета, а другая вновь восстанавливала белый свет. Для этого необходим узкий пучок белого света.

ОПЫТ 8. ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА

Оборудование: источник света, кусок картона

Оптике человеческого глаза также свойственна хроматическая aberrация. Попробуйте обнаружить, как луч белого света разлагается на цвета в вашем глазу.

Вам необходим яркий точечный или щелевой источник света. Для этого перекройте световой пучок фонаря или проектора непрозрачным экраном (черный картон, жест, фольга), в котором прорезана щель или просверлено точечное отверстие.

В темной комнате смотрите одним глазом на источник света. Видите ли вы цветные края светового пятнышка? Прямоугольным куском картона прикройте глаз, которым вы смотрите на источник света, но не полностью, а так, чтобы закрыть часть зрачка (рис. 8.1). Плавно передвигайте картон от виска, постепенно закрывая все большую часть глаза, пока не увидите цветной ореол вокруг светового отверстия. На что похож сейчас источник света?



Рис. 8. 1. Так наблюдается хроматическая аберрация глаза.

Результат зависит от тонкости субъективного восприятия. К тому же не все одинаково наблюдательны. Чтобы разглядеть цветовой эффект, надо очень пристально смотреть на источник.

Прodelайте то же, но теперь закрывайте глаз, двигая картон от носа. Меняется ли порядок расположения цветов в направлении слева направо? Почему? Чтобы найти объяснение, вспомните опыт с водяной призмой.

Как вы думаете, оптическая система вашего глаза подобна двум призмам, сложенным основаниями?

Экспонат для выставки

Эффект хроматической аберрации можно показать на схематическом рисунке глаза. С помощью описанной выше установки можно показать желающим эффект хроматической аберрации на их собственном глазу.

ОПЫТ 9. АККОМОДАЦИЯ ГЛАЗА

Оборудование: кусок картона с отверстием и буквами

Роговица глаза не меняет своей преломляющей силы, но хрусталик, окруженный цилиарной мышцей, может это делать. Обратитесь еще раз к схеме 2. Чтобы поддерживать четкость зрения на разных расстояниях, хрусталик автоматически меняет свою толщину, а значит, и преломляющую силу. Автоматическая фокусировка оптической системы глаза называется *аккомодацией*.

В центре куска картона прорежьте круглое отверстие и вокруг него нарисуйте или наклейте буквы (рис. 9. 1.). Держите картон примерно в 30 сантиметрах от лица против одного глаза и смотрите через отверстие, например, на картину, висящую на противоположной стене комнаты. Буквы по краям отверстия видны нечетко. Теперь смотрите прямо на буквы. Они видны четко. А картина? Как видите, ваш глаз меня-

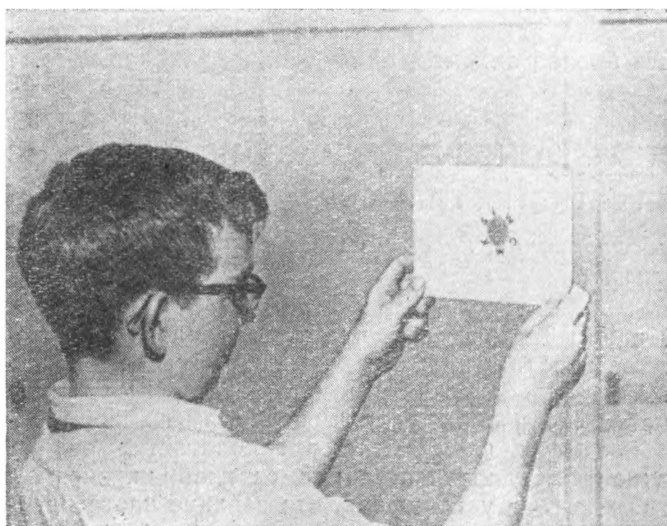


Рис. 9 1. Если смотреть через отверстие на отдаленный предмет, буквы по краям отверстия будут смазаны.

ет свою фокусировку в зависимости от расстояния. Это работает хрусталик глаза. Повторите опыт несколько раз, чтобы не осталось сомнений.

Вы наблюдаете одну из важнейших функций глаза — аккомодацию. С возрастом способность глаза к аккомодации постепенно уменьшается. К сороковым годам жизни (при отсутствии близорукости) трудно видеть четко на малых расстояниях. Поэтому людям старше сорока лет обычно требуются очки для чтения.

Полную преломляющую силу вашего глаза можно установить, измерив наименьшее расстояние, на котором вы еще способны прочесть колонку мелкого газетного шрифта. Проверьте себя и нескольких товарищей или членов вашей семьи. Читать надо каждым глазом в отдельности. Те, кто носит очки постоянно, должны читать, не снимая очков. Чем «старше» глаз, тем меньше способность к аккомодации.

Экспонат для выставки

Для демонстрации фокусирующей системы глаза сделайте рисунки или модель. Используйте то же приспособление, какое вы применяли в опыте. Можно измерить предел аккомодации у каждого желающего.

ОПЫТ 10. ПЕРЕВЕРНУТОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ НА СЕТЧАТКЕ ГЛАЗА

Оборудование: кусок картона с булавочным отверстием, булавка

В опыте 3 мы видели, что любая лупа дает перевернутое изображение; его называют еще «обратное» в противоположность «прямому». Оптика глаза тоже дает обратное изображение. Конечно, вы видите «прямые» предметы, и, вероятно, предполагаете, что на сетчатке также получается прямое изображение. На самом деле глаз устроен так, что верхние части предметов проецируются на нижнюю часть сетчатки, и, наоборот, «выпрямление» предметов для вас столь естественно, что даже не осознается.

Как вы помните, перевернутое изображение дает камера-обскура. Любая лупа, в том числе оптическая система глаза, делает то же самое. Вы можете это проверить, спроецировав на сетчатку своего глаза теневое изображение и (с помощью булавочного отверстия) избавившись от «выпрямления» изображения, которое неизбежно произошло бы в высших отделах зрительной системы.



Рис. 10. 1. Держите булавку и полоску картона с отверстием, как показано на рисунке. В этом случае теневое изображение булавки на фоне отверстия будет перевернутым.

Картонную карту с булавочным отверстием в центре держите примерно в 7 сантиметрах от глаза. Воткните в палочку (рис. 10. 1) острый конец булавки. Медленно поднимайте булавку головкой вверх, держа ее как можно ближе к глазу (чтобы касалась ресниц), пока она не подойдет к краю отверстия, на которое вы все время смотрите. Внимательно ожидайте появления образа — тени булавки. Куда обращена головка булавки — вверх или вниз?

Вы знакомитесь с очень важным принципом работы зрения. Тень булавки падает на нижнюю часть сетчатки вашего глаза — и потому воспринимается вверх. Вы увидите, что тень булавки движется сверху вниз, хотя на самом деле булавка перемещается снизу вверх.

Можете проверить это иным способом. Правым глазом посмотрите (не поворачивая головы) влево. Левый глаз прищурьте (вы видите в это время свой нос). Слегка нажмите на правый глаз пальцем у виска сквозь веки. Появляется пятнышко близ носа — в стороне, противоположной месту давления. Давлением вы раздражаете сетчатку, а образ, возникающий вследствие раздражения сетчатки глаза, всегда виден во внешнем пространстве в том направлении, куда проецируется раздражаемый участок сетчатки.

Экспонат для выставки

На модели глаза можно показать «перевернутость» изображения на сетчатке. Лупа или система линз также хорошо иллюстрирует это явление.

ОПЫТ 11. ЭНТОПТИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ

Оборудование: кусок картона с булавочным отверстием

Энтоптические означает «возникающие внутри глаза». Явления, которые вы будете наблюдать, возникают от того, что клетки, нити и другие элементы тканей глаза отбрасывают тени на световоспринимающие клетки сетчатки.

Роговица. Посмотрите на умеренно яркую область леба. Легче вести наблюдение каждым глазом в от-

дельности. Отметьте участки неба, где равномерность цвета или яркости нарушается; часть нарушений возникает из-за несовершенства ткани роговицы и пленки слезы, постоянно покрывающей роговицу. Капельки слезной жидкости проецируются на небо в виде ярких пятнышек, окруженных темным кольцом. Моргните — пятнышки тоже колыхнутся.

Прищурьтесь. Что изменилось? Сквозь веко нажмите пальцем на роговицу и наблюдайте за изменениями видимой картины.

Водянистая влага и стекловидное тело. Тканевые клетки, плавающие в водянистой влаге и стекловидном теле, заметны в виде пятен неправильной формы, плавающих на фоне неба. Прикройте один глаз и, гля-



Рис. 11. 1. Глядя на яркое небо через маленькое отверстие в листе плотной бумаги, вы увидите энтоптические образы.

дя на небо, проверьте это. Посмотрите вниз, а затем быстро вверх (не поворачивая головы). Видите ли вы медленно проплывающие тени? Прodelайте то же, глядя другим глазом.

Возьмите карточку из плотной бумаги с отверстием, проделанным толстой булавкой. Подвигайте карточку вправо — влево перед одним глазом. Старайтесь обнаружить пятна и тени. Они бывают нитевидными либо в виде кружков. Те, кто помоложе, обычно видят меньше плавающих клеток и нитей, чем люди пожилые. Иногда плавающие тени кажутся огромными. Наблюдаемые тени свойственны совершенно нормальным глазам и не являются какими-либо «симптомами».

Клетки кровеносных сосудов сетчатки. Вы можете обнаружить клетки крови, путешествующие по капиллярам сетчатки вашего глаза. Снова посмотрите на небо одним глазом. Замечаете ли вы мелкие «танцующие» пятнышки? Это яркие кружки на темном фоне, и следуют они друг за другом по извилистым линиям, повторяющим форму капилляров, и, кроме того, совершают самостоятельные движения.

Чтобы отличить клетки крови от тканевых клеток водянистой влаги и стекловидного тела, нужно наблюдать очень внимательно. Меняйте освещение. Повторяйте опыт до тех пор, пока не найдете наилучшие условия для наблюдения энтоптических явлений.

ОПЫТ 12. КРОВЕНОСНЫЕ СОСУДЫ СЕТЧАТКИ

Оборудование: небольшой круглый фонарик

Кровеносные сосуды входят в глаз через диск зрительного нерва (см. схему 2). В основном сетчатка снабжается кровью через сосудистую оболочку, но часть сосудов проникает и в саму сетчатку. Разветвления кровеносных сосудов можно увидеть в глазу другого человека, если осматривать глазное дно с помощью специального инструмента — офтальмоскопа. Но в собственном глазу сосуды сетчатки можно увидеть гораздо проще, хотя и менее отчетливо, — в виде теней. Почему мы не видим этих теней постоянно? По-



Рис. 12. 1. Свет, проникающий в глаз сбоку сквозь закрытое веко, дает теневое изображение сосудов сетчатки; вы увидите это изображение, если будете очень внимательны.

чему они не мешают нам видеть окружающее? Дело в том, что световоспринимающие клетки, на которые всегда падают тени от сосудов, «привыкли» к этому. Но если осветить глаз сбоку так, чтобы тени упали на соседние, «непривычные» клетки, сосуды станут видны¹.

В затемненной комнате осветите глаз сбоку сквозь сомкнутые веки тонким пучком света (рис. 12. 1). Слегка подвигайте фонарик из стороны в сторону. Где-то «перед собой» вы увидите сосуды сетчатки. Продолжайте двигать источник света над веком. Появятся древовидные ветвящиеся фигуры крупных сосудов сетчатки. Попытайтесь проследить разветвление до их «ствола» — вы получите теневой образ диска зрительного нерва, от которого и отходят ветви со-

¹ Далеко не всем этот опыт удастся сразу. Иногда необходим очень яркий маленький источник света, колеблющийся и вспыхивающий у виска. Опыт лучше повторить не два-три, а десять-пятнадцать раз.

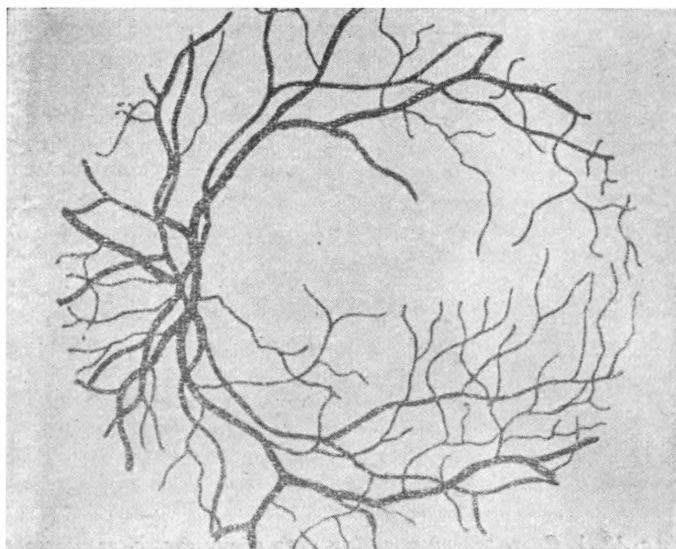


Рис. 12. 2. Таков основной узор, образуемый кровеносными сосудами сетчатки; освещая глаз сбоку через закрытое веко, вы увидите тень этого узора.

судов. На рис. 12. 2 показан узор, образуемый сосудами сетчатки.

Экспонат для выставки

Сделайте рисунки или модели «сосудистого дерева» сетчатки.

ОПЫТ 13. ПОЛЕ ЗРЕНИЯ

Оборудование: указка с белым кружком на конце

Закройте один глаз, а другим смотрите на метку, прикрепленную к противоположной стене комнаты. Заметьте, какую часть стены вы видите, если не двигаете глазом. Область, которую вы видите, когда неподвижно фиксируете метку, называется вашим *полем зрения*. Теперь фиксируйте метку другим глазом. Ту же область вы видите? Смотрите на метку обоими гла-

зани — намного ли увеличилась видимая вами область? Как, по-вашему, большими ли преимуществами обладает поле зрения обоих глаз по сравнению с полем зрения одного глаза?

Лист бумаги сверните в трубку. Смотрите сквозь трубку на точку на стене. Велика ли область, видимая вокруг точки? Точка видна хорошо, но представьте себе, что значит постоянно иметь «трубочное поле зрения». Походите по комнате, приставив к каждому глазу по трубке. Теперь вы понимаете, насколько ценно большое поле зрения?

Глядя одним глазом прямо перед собой (другой глаз закрыт), вы замечаете предметы, удаленные от фиксируемой точки примерно до 60 градусов в сторону носа, 100 градусов к виску, 65 градусов вниз и примерно 50 градусов вверх. Предметы в стороне от фиксируемой точки видны тем менее четко, чем дальше они от нее отодвинуты (боковое, или периферическое зрение), но все же присутствие предметов воспринимается хорошо, и это очень важное свойство зрения. При некоторых заболеваниях, при сильной усталости, при отравлении определенными веществами (в том числе содержащимися в табаке) поле зрения уменьшается.

Сделайте черную указку из дерева или проволоки и на конце ее укрепите белый кружок из плотной бумаги диаметром примерно 6 миллиметров. Усадите вашего партнера на расстоянии метра от гладкой, ровно окрашенной стены и исследуйте поле зрения его глаз (рис. 13. 1). Один глаз завяжите. Точно против другого закрепите на стене черную точку — ее он должен фиксировать во время исследования. Указку с белым кружком ведите по стене к точке фиксации (начинайте примерно с 1—1,5 метра); в момент, когда наблюдатель скажет: «Вижу», — остановитесь и отметьте это место на стене мелом; повторите ту же процедуру по всей окружности через примерно 15-градусные интервалы. Вы получите наружные границы поля зрения.

Будьте осторожны в оценке полученных результатов. Техника вашего исследования поля зрения очень несовершенна и годится только для демонстрации, но не для диагностики.



Рис. 13. 1. Наблюдатель смотрит, не двигая глазом, на черную метку (второй глаз лучше завязать). Экспериментатор перемещает белую метку — от края к центру — до точки, в которой ее замечает наблюдатель. Голова наблюдателя неподвижна.

Экспонат для выставки

Начертите схемы поля зрения, характерные для нормального зрения одним и двумя глазами. Можно связать их с моделью или схематическим рисунком глаза. Укажите преимущества зрения двумя глазами.

ОПЫТ 14. СЛЕПОЕ ПЯТНО

Оборудование: небольшая проволочная указка с белым кружком на конце, лист черной бумаги, цветной мелок

В том месте сетчатки, где находится диск зрительного нерва, нет светочувствительных клеток. Посмотрите на схему 2. Диск зрительного нерва занимает не так уж мало места на сетчатке (6—8 угловых градусов). В вашем поле зрения есть соответствующая диску овальная зона, где вы не видите, — *слепое пятно*.

Сделайте указку из тонкой проволоки, насадите на ее кончик белый кружок диаметром около 3 миллиметров. В центре листа черной бумаги размером не менее 20 на 24 сантиметра поставьте белую фиксационную точку. Прикрепите бумагу к стене.

Вашего партнера усадите так, чтобы один его глаз (другой завязан) был точно против фиксационной точки на расстоянии 30—35 сантиметров от нее (рис. 14.1). Пусть он смотрит неподвижно на центральную белую точку; белым кружком указки ведите по листу черной бумаги. Сначала наблюдатель видит его, потом кружок исчезает; это место отметьте и ведите указку дальше—кружок снова появится. Это место отметьте мелком. Повторите процедуру в нескольких направлениях— вы получите овальный контур слепого пятна.

Таким образом, предмет не виден, когда он проецируется на диск зрительного нерва. Измерьте отмеченную вами область слепого пятна. А теперь подсчи-

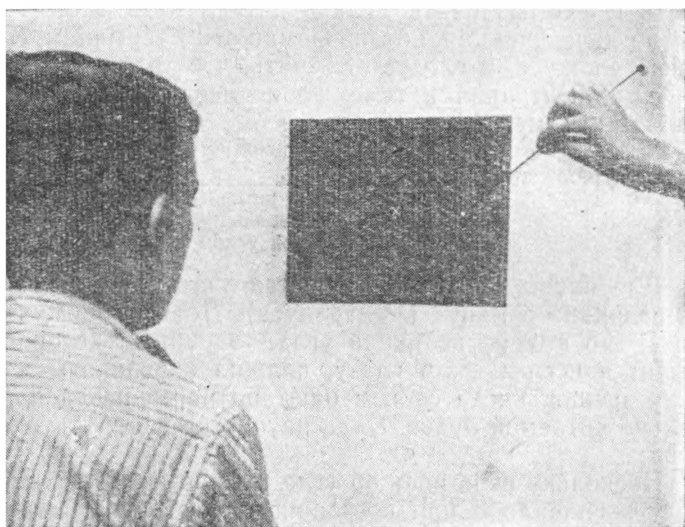


Рис. 14. 1. Белая точка не видна наблюдателю, неподвижно глядящему правым глазом в центр черного экрана; метка находится в зоне слепого пятна. Левый глаз наблюдателя завязан, голова неподвижна.

тайте величину соответствующей области на расстоянии 100 метров от глаза. Можно скрыть целый автомобиль, не правда ли? Как вы думаете, почему мы не обнаружим слепое пятно, если просто закроем один глаз? Почему слепое пятно не мешает видеть?

Экспонат для выставки

Сделайте рисунок глазного дна с диском зрительного нерва. Покажите посетителям выставки, как обнаруживается и измеряется слепое пятно.

ОПЫТ 15. ОСТРОТА ЗРЕНИЯ

Оборудование: черные буквы на белых картонных кругах

Термин *острота зрения* обычно означает способность глаза различать мелкие детали предметов. На самом деле функция, обозначаемая этим термином, гораздо сложнее, и следует помнить, что этот опыт — лишь иллюстрация к теме, но не исследование ее в полном объеме.

$$\text{Острота зрения} = \frac{\text{Расстояние, с которого ведется наблюдение}}{\text{Расстояние, с которого наименьшая из правильно прочтенных букв видна под углом 5 минут}}$$

Для наших целей не требуется знать, почему эта величина 5 минут ($5/60$ градуса). Достаточно понимать, что именно величина угла, вершина которого лежит в исследуемом глазу, должна определять остроту зрения, когда ее измеряют по наименьшей правильно читаемой букве. Надо научиться измерять этот угол.

Поскольку речь идет об угле, можно измерять остроту зрения либо при постоянном расстоянии, меняя размер букв, либо при постоянном размере букв, меняя расстояние. В обоих случаях остроту зрения выражают углом, под которым видна наименьшая из прочитанных букв.



Рис. 15. 1. Точная величина букв для проведения опыта, иллюстрирующего остроту зрения.



Рис. 15. 2. Наблюдатель медленно приближается, пока ему не удастся обнаружить, в какую сторону направлена буква.

Вырежьте из черной бумаги три буквы Ш точно такого размера, как на рис. 15.1. Каждую наклейте в центре белого картонного круга диаметром около 30 сантиметров (рис. 15.2). Сзади прикрепите петлю для того, чтобы ваша рука не была видна. Наименьшая из букв видна под углом 5 минут с расстояния 5, средняя — 10 метров, самая большая видна под тем же углом с расстояния 25 метров.

Ваш партнер отходит примерно на 6 метров, а вы поворачиваете диск с маленькой буквой Ш на любой угол. Пусть он медленно подходит, пока не сможет правильно показать (например, тремя пальцами), куда направлена Ш. Опыт нужно проделать трижды: при наблюдении правым глазом, левым и обоими глазами вместе.

Каждый раз измеряйте расстояние (в метрах), с которого правильно прочтена буква. Поделив эту величину на число 5, вы получите остроту зрения (в долях условной единицы). Так, если расстояние 4 метра, острота зрения равна $\frac{4}{5}=0,8$, а если буква правильно прочтена с расстояния 6 метров, острота зрения равна $\frac{6}{5}=1,2$.

Расстояние можно сокращать лишь до 3 метров; если с 3 метров наблюдатель не различает маленькую Ш, повторите все сначала, используя диск с буквой средней величины. Считайте по тому же принципу, но в знаменателе теперь берите не 5, а 10. Если получите больше чем один знак после запятой, округляйте по общим правилам арифметики.

Каждого, кто носит очки, проверяйте в очках и без них. В последнем случае вам может понадобиться самая большая буква. Правила те же, но в знаменателе число 25.

Не исключено, что вы обнаружите пониженную остроту зрения у людей, не знавших об этом раньше. Не пытайтесь выяснять или устранять причины. Просто посоветуйте обратиться к окулисту. Наш опыт предназначен только для ознакомления с тем, что такое острота зрения, и принципом ее измерения.

Вы уже знаете, что только центр сетчатки имеет высокую остроту зрения. Это можно легко показать с помощью буквы Ш. Попросите наблюдателя смотреть одним глазом (другой закрыт) на ваш палец, находя-

щийся у самого края диска с большой буквой Ш. Пусть он медленно приближается, глядя все время на ваш палец, пока не увидит букву отчетливо. Подсчитайте теперь остроту зрения.

Измерьте остроту зрения участков сетчатки, более далеких от центра. В качестве объекта фиксации возьмите карандаш и отодвигайте его в сторону от буквы Ш. Какая у вас острота периферического зрения? Почему в обычных условиях все предметы, которые находятся в стороне от линии вашего зрения, видны достаточно четко?

Не следует переоценивать значение только высокой остроты зрения. Высокая острота — лишь одно из многих условий хорошей работы зрения. В этой книге мы коснемся других функций и возможностей механики зрения. Периферическое зрение, движения глаз, видение в сумерках (адаптация к темноте), аккомодация и многое другое также необходимы для хорошего зрения. Ни одна из этих функций не измеряется остротой зрения. И «единица» вовсе не означает, что у человека прекрасное зрение¹.

Экспонат для выставки

Изготовьте схемы, показывающие, что такое острота зрения, и рисунок глазного дна с указанием на то место сетчатки, которому соответствует наиболее острое зрение. Проиллюстрируйте способы исследования остроты зрения. Объясните различные обстоятельства, способные снизить остроту зрения.

ОПЫТ 16. АДАПТАЦИЯ К ТЕМНОТЕ

Оборудование: квадрат черного картона, круг и квадрат из белой бумаги размером около 2,5 сантиметра

В яркий солнечный день, когда вы входите в неосвещенную комнату с улицы, вам кажется, что в доме

¹ Нормальная острота зрения человека больше единицы, она примерно равна 1,4 (то есть светлый промежуток между двумя черными точками виден даже в тех случаях, когда его угловая величина всего 40 секунд). Столь часто применяемое в быту выражение «стопроцентное зрение» практически лишено смысла. В послесловии об этом будет сказано подробнее.

царит глубокая ночь. Но вскоре вы уже прекрасно ориентируетесь, несмотря на относительно малую освещенность: ваши глаза приспособились — произошла *адаптация* к темноте. Сущность этого процесса состоит в том, что сетчатка становится более чувствительной к свету, потому что количество особого химического вещества — *родопсина*, содержащегося в ней, автоматически увеличивается с уменьшением освещенности.

Родопсин содержится в палочковых клетках сетчатки. В первые пять минут после изменения освещенности количество родопсина меняется очень быстро, а затем медленно еще примерно в течение часа. В результате адаптации чувствительность глаза к свету возрастает в миллион раз. При идеальных условиях глаз, полностью адаптированный к темноте, может заметить свет от обыкновенной свечки, удаленной на 20 километров!

Наблюдать процесс адаптации очень просто: вечером перейдите из хорошо освещенной комнаты в темную. Заметьте, сколько времени понадобится вам для того, чтобы различить цифры на часах со светящимся циферблатом или прочесть заголовок газеты, если из окна или из приоткрытой двери идет слабый свет.

Очень слабый свет лучше виден, если смотреть чуть мимо него. Причина — отсутствие палочек в центре сетчатки. Так, неяркая звезда в небе покажется ярче, если посмотреть немного в сторону от нее. Проверьте это, когда представится удобный случай.

Возьмите квадрат черного картона размером 20 на 25 сантиметров. По обе стороны от центра на расстоянии 5 сантиметров приклейте к картону кружок и квадрат. Держите картон, как книгу во время чтения (рис. 16.1).

Пусть ваш партнер внезапно погасит свет. Ваши глаза постепенно приспособятся к темноте, и вы увидите белые пятна (на невидимом картоне). Обратите внимание — кружок виден лучше, если смотреть не на него, а на квадратик. Можете ли вы объяснить, почему?

Если вы внимательно прочли начало описания этого опыта, то сможете правильно объяснить его результаты.



Рис. 16. 1. Подсчитайте, сколько времени пройдет с момента, когда в ярко освещенной комнате выключат свет, погрузив ее в почти полную темноту, до момента, когда вы сможете различить белый круг и квадрат. Возьмите в руки картон (до того, как погасят свет), но обратите его фигурами от себя и еще поворачивайте, чтобы не знать, где расположены белый круг и квадрат; когда свет погасят, поверните картон к себе той стороной, где должны быть фигуры.

Экспонат для выставки

Сделайте схематические рисунки сетчатки, обозначив на ней плотность расположения колбочек и палочек. Начертите диаграмму процесса адаптации к темноте. Перечислите на диаграмме функции палочек и колбочек.

ОПЫТ 17. СМЕНА ЦВЕТОВ

Оборудование: фонарь с картонной маской

Когда свет падает на глаз, начальная его фокусировка производится роговицей, зрачок пропускает определенное количество сходящихся лучей, хрусталик доводит фокусировку до совершенства, но только в сетчатке начинается собственно процесс зрения. В этом опыте вы можете получить некоторое представление об электрохимической деятельности сетчатки.

Вырежьте кусок плотного картона по размеру стекла вашего фонаря. В центре сделайте маленькое отверстие и закрепите полученную маску на стекле фонаря. В результате ваш фонарь дает тонкий, но очень яркий пучок света¹. Опыт проводите в совершенно темной комнате, и прежде, чем начать, побудьте 5—10 минут в темноте, чтобы ваши глаза адаптировались.

Один глаз закройте. Другим смотрите на светящееся отверстие в маске фонаря (рис. 17.1), приблизив его к глазу на 2,5—5 сантиметров; смотрите, не отрываясь, пока не сосчитаете (очень медленно) до 40. Теперь погасите фонарь, закройте оба глаза и прикройте их ладонью, не нажимая. Несколько секунд подождите, а затем вы заметите яркое пятно. Внимательно «рассмотрите» его; торопиться не надо — оно сохраняется довольно долго, иногда — несколько минут.

Вы видите образ, возникший вследствие долгого раздражения участка сетчатки ярким раздражителем; такой образ называют *послеобразом*, или *последовательным образом*. Наблюдайте, как он меняет цвет. С первого раза опыт, возможно, вам не удастся — повторите его. Вероятно, надо продлить время «смотрения» на свет фонаря, чтобы затем лучше различить смену цветов в центральной части послеобраза.

Процесс, приводящий к возникновению последовательного образа, сосредоточен главным образом в

¹ Если вы пользуетесь проектором (например, фильмоскопом), нужно вставить маску в рамку для кадра.



Рис. 17. 1. Если глядеть неподвижно на маленькое яркое пятнышко, то затем в полной темноте можно увидеть смену цветов.

сетчатке. Однако, вы видите этот образ, значит, в процессе участвует весь нервный аппарат зрения от сетчатки до мозга включительно. Подумайте, почему виден сначала один цвет, затем другой и так далее.

Экспонат для выставки

Изучите детальнее вещества, содержащиеся в сетчатке. Начертите схемы некоторых химических реакций и покажите, как глаз реагирует на свет.

ОПЫТ 18. ПОСЛЕОБРАЗЫ

Оборудование: разноцветная бумага, равномерно серая поверхность — экран

Число послеобразов, которые вы можете наблюдать, бесконечно. Термин *послеобраз* означает, что образ остается после того, как вызвавший его раздражитель перестает действовать. Послеобраз называется *положительным*, когда он содержит такое же распределение ярких и темных участков, как и сам раздражитель, и *отрицательным*, когда распределение ярких и темных участков противоположное.

Наиболее интересны *наведенные* послеобразы. Эффект наведения вызывается чем-то дополнительным к основному раздражителю — например, фоном, на котором рассматривается послеобраз; этот фон может представлять собой либо узор, либо серое поле, либо цветное поле. Сначала всегда показывают основной раздражитель — рисунок, цвет. Затем наблюдатель смотрит на какой-либо фон. Легче всего обнаружить наведенный послеобраз на нейтральном — сером фоне.

На рис. 18.1 показаны рисунки, с помощью которых можно получить хорошие послеобразы. Оставьте в поле зрения только один рисунок и смотрите на него 30—60 секунд. Затем переведите взгляд на серый фон. Света в комнате должно быть не слишком много (сумеречное освещение). Вы можете увидеть птицу, летящую по потолку, по стене, по вашей ладони¹.

Вырежьте любые изображения из цветной бумаги. Экспериментируйте с фигурами разного цвета. Посмотрев на такую фигуру, переведите взгляд на серый фон — и вы увидите послеобраз дополнительного к первоначальному цвета. Вы познакомились таким образом с одним из основных принципов формирования наведенных послеобразов.

Под действием основного раздражителя расходуется определенный вид электрохимической энергии зрительной системы, вследствие чего одновременно повышается ее чувствительность к противоположному виду той же энергии. Например, красный раздражи-

¹ Ваш глаз проецирует послеобраз на любую поверхность, которую вы рассматриваете.

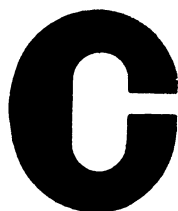
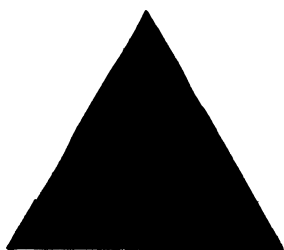


Рис. 18.1. Такие фигурки можно наклеить на серый картон. Сначала надо смотреть на фигурку, а затем перевести взгляд на серое поле; опыт проводится при неярком освещении.

тель приводит к расходу «красной» энергии, отчего глаз становится более чувствительным к энергии «зеленой», дополняющей красную. Такое объяснение, конечно, не удовлетворит специалиста по зрению, но на первых порах оно годится.

Фиксируйте правым глазом букву С в течение минуты; левый глаз закройте ладонью. Посмотрите послеобраз правым глазом. А теперь заслоните правый глаз и откройте левый. Видите ли вы послеобраз левым глазом? О каком свойстве наведенных послеобразов говорит результат этого опыта?

«Серое» — то же самое, что белое малой яркости, а в свете, отраженном от белой (и серой) поверхности, скрыты все цвета. Когда основной раздражитель красный, а затем вы смотрите на серую поверхность, виден «наведенный» зеленый цвет. Объяснение простое: зеленое, содержащееся в сером наравне с красным, ощущается сильнее, поскольку увеличилась чувствительность глаза именно к зеленому (точнее, к зелено-голубому), а чувствительность к красному понизилась.

Возьмите фон такого же цвета, какой свойствен первому раздражителю. Смотрите на ярко-красный квадрат в течение минуты, а затем переведите взгляд на лист красной бумаги. Как выглядит послеобраз?

Оставьте тот же основной раздражитель, но фон возьмите зелено-голубого цвета, то есть цвета, дополнительного к красному. Как отличается нынешний послеобраз от предыдущего и от того, который получился на сером фоне? Попробуйте различные цвета и различные сочетания для основного раздражителя и для фона.

Экспонат для выставки

Узор, состоящий из концентрических окружностей (рис. 18. 2), — очень сильный раздражитель, легко вы-

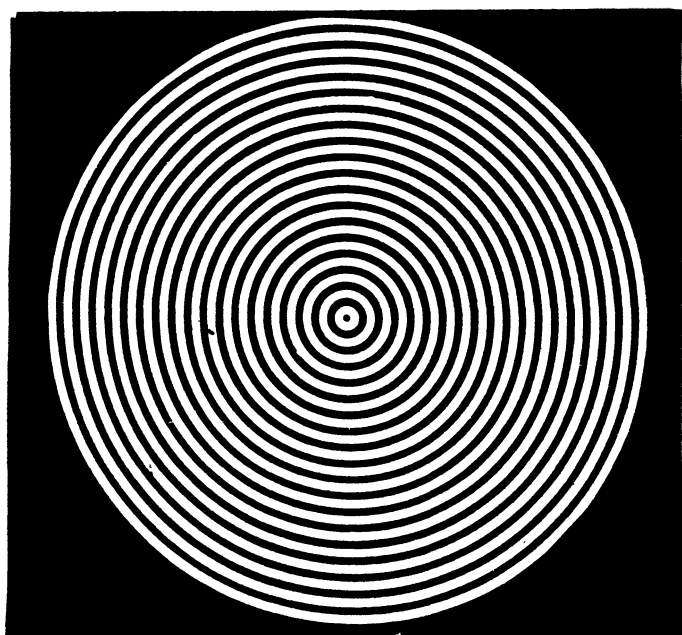


Рис. 18. 2. При рассматривании этой фигуры возникают эффекты движения и качения. Такие же эффекты наблюдаются в ее последовательном образе.

зывающий послеобразы. Сделайте такой рисунок диаметром 30—50 сантиметров. Установите в стороне большой серый экран для рассматривания послеобраза. Если ваш рисунок цветной, эффект получится особенно впечатляющим. Разработайте сочетания цветов и рисунки, которые произведут наибольший эффект. Большие экспонаты можно демонстрировать целой группе людей одновременно.

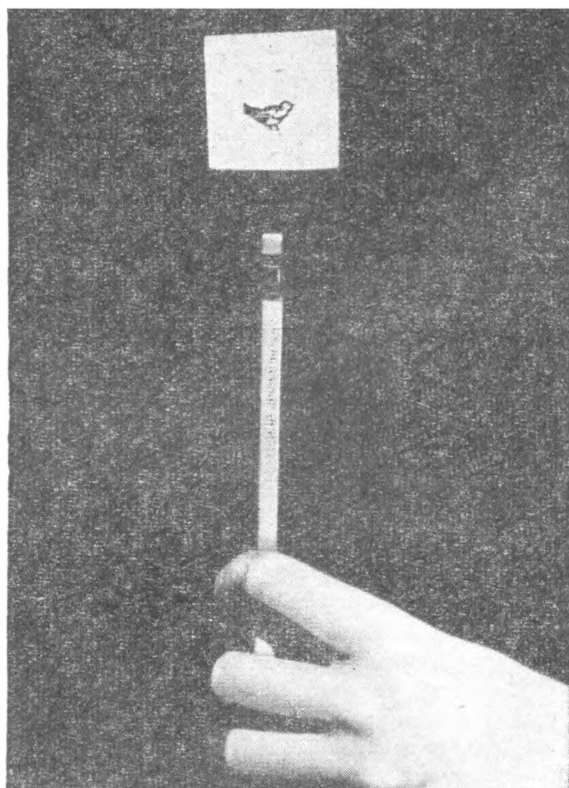
ОПЫТ 19. ИНЕРЦИЯ ЗРЕНИЯ

Оборудование: проекционный фонарь, рисунки птицы и клетки, длинная линейка

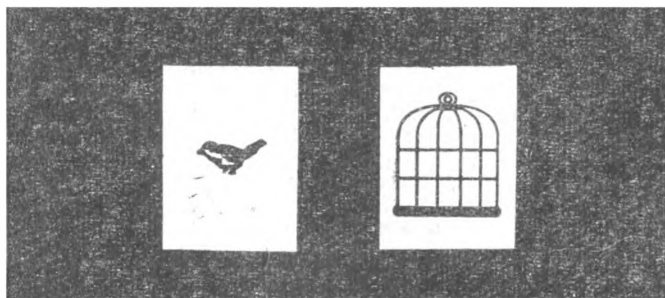
Бегущая на киноэкране лошадь, конечно, никуда не бежит. Не бежит она и на телевизионном экране. И вообще «движущиеся» в кадре объекты неподвижны — перемещаются сами кадры, но с такой скоростью, что человеческий глаз не замечает их смены. Видеть на экране движение можно потому, что зрение человека обладает определенной инерцией. (О восприятии подлинного движения речь пойдет при описании опыта 35.) Иначе говоря, любое зрительное ощущение сохраняется еще некоторое время после того, как раздражитель исчезает. Поэтому, если раздражители сменяются достаточно часто, видимое изображение предыдущего раздражителя плавно переходит в образ последующего раздражителя, а при определенных условиях их можно увидеть и одновременно.

На рис. 19.1 показан таумотроп — приборчик, вращая который можно продемонстрировать инерцию зрения. Если вращать таумотроп достаточно быстро, рисунок с одной стороны совмещается с рисунком, находящимся на противоположной стороне. На одной стороне картонного квадрата наклейте рисунок птицы, а на другой — рисунок клетки (рис. 19.2). Воткните иглу одним концом в край картонного квадрата, другим в карандаш. Вращайте карандаш — и птица будет в клетке.

Если у вас есть проекционный фонарь (или фильмоскоп), вы можете довольно эффектно показать феномен инерции зрения. Небольшой лист бумаги поместите примерно в 1—1,5 метра перед проектором.



Р и с. 19. 1. Таумотроп.



Р и с. 19. 2. Две стороны картинка таумотропа.

Большой экран не годится — нужна поверхность, на которой можно получить только часть изображения. Вставьте диапозитив в проектор и фиксируйте изображение так, чтобы оно занимало весь лист.

Один конец метровой линейки закройте белой бумагой на протяжении 25—30 сантиметров. За другой конец держите линейку горизонтально. «Выбеленный» конец линейки поместите в то же положение, куда вы ставили лист бумаги. Чуть перемещая линейку, найдите такое ее удаление от проектора, при котором любая часть изображения оказывается четко сфокусированной на белом конце линейки. Теперь приступайте: быстро перемещайте линейку вверх-вниз, вверх-вниз.

Наблюдатели, стоящие за проектором, видят полное изображение цветного рисунка в воздухе в том месте, где вы двигаете линейку. Это происходит потому, что отдельные куски изображения, непосредственно видимые только в те моменты, когда они проектируются на линейку, сохраняются зрением в течение некоторого времени, достаточного для того, чтобы вы успели, передвинув линейку, показать следующие куски кадра.

Знаете ли вы, что таким же способом получается телевизионная картинка? Только там не линейка, а электронный луч одну за другой показывает горизонтальные строчки изображения. А целая картина получается благодаря инерции зрения.

Экспонат для выставки

Таумотроп можно сделать по-разному; для вращения двусторонней картинки годится любой способ. Придумайте пары пооригинальнее. Самодвижущееся устройство позволит вам продемонстрировать инерцию зрения так же, как в опыте с линсейкой.

ОПЫТ 20. ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРАСТ

Оборудование: картон, акварельные краски, два источника света, цветные фильтры

В последних четырех опытах мы познакомились с электрохимическими и физиологическими процессами

в зрительном аппарате. Вы узнали, что процесс, начинающийся в сетчатке под действием света, продолжается и после того, как раздражитель исчезает из поля зрения. Поэтому восприятие последующего раздражителя оказывается под влиянием ощущений, вызванных предшествующим раздражителем. Один раздражитель влияет на восприятие другого и в том случае, когда оба они действуют одновременно. Простейшим примером такого рода служит явление одновременного контраста.

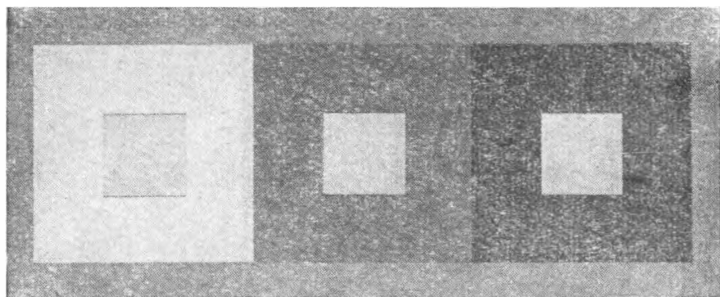
Из листа серой бумаги вырежьте три квадрата и поместите их на различный фон: белый, серый и черный (рис. 20. 1). Одинаковые серые квадраты будут казаться разными по тону. Это и есть одновременный контраст.

На ярком фоне темное кажется еще более темным, на темном фоне яркое — еще ярче, причем граница между ярким и темным резко выделяется. Явление одновременного контраста, по-видимому, связано с механизмом остроты зрения (опыт 15).

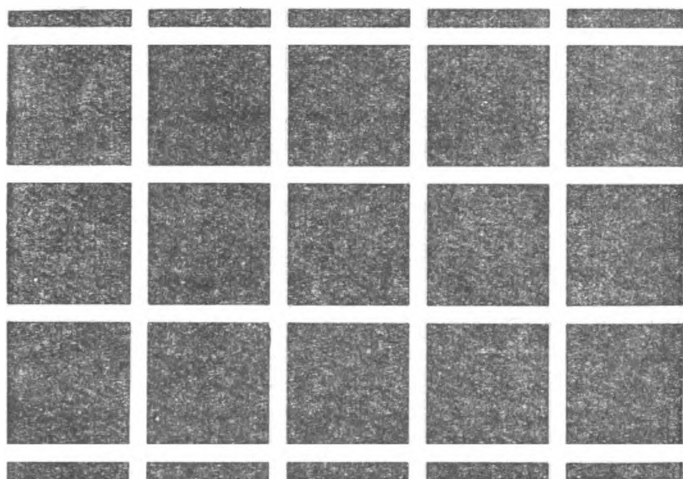
Глядя на рис. 20. 2, вы легко заметите серые пятна в пересечениях белых линий. Однако в том пересечении, на которое вы смотрите прицельно, серое пятно заметно меньше, чем на соседних. Это объясняется тем, что, когда изображение падает на центральную ямку сетчатки, где нет палочек, одновременный контраст усиливается. Впрочем, для этой «иллюзии яркостного контраста» пока точного научного объяснения нет.

Можно получить цветные эффекты иного рода. Исследуйте явление одновременного цветового контраста, помещая вырезанные из одного и того же цветного листа бумаги квадраты на разный фон: серый и цветной (сходный с цветом квадратов или дополнительный к нему).

Особенно эффектный цветовой одновременный контраст можно получить, вырезав в центре большого цветного листа маленькое (12 на 24 миллиметра) прямоугольное отверстие. Подложив под этот лист кусок серой бумаги, вы увидите, что большое цветное поле легко наведет свой дополнительный цвет в маленьком сером прямоугольнике.



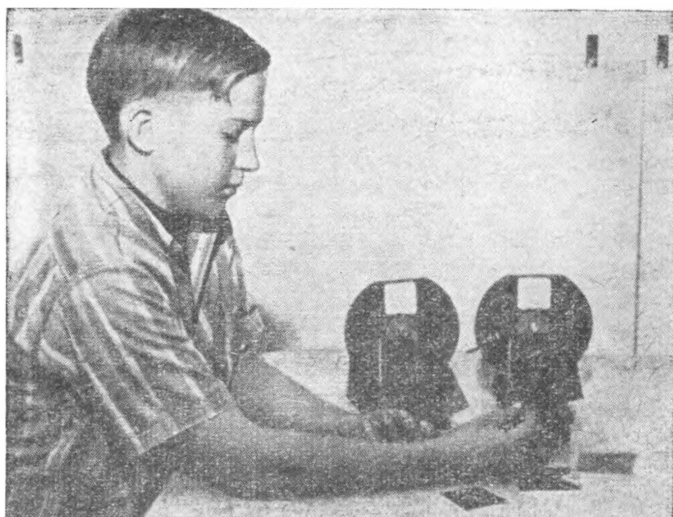
Р и с. 20. 1. Все серые квадраты (и окаймляющее поле) сделаны из одного и того же листа бумаги (см. текст).



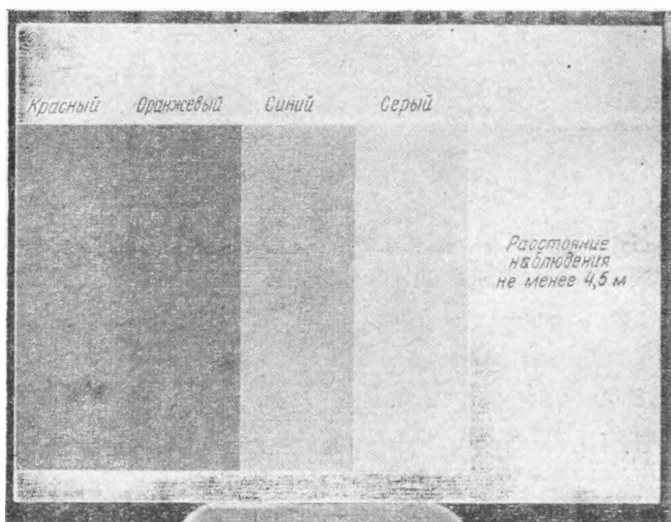
Р и с. 20. 2. Иллюзия яркостного контраста.

Экспонат для выставки

1. Используйте два проекционных фонаря. В тонкой металлической или черной пластмассовой пластине размером с диапозитив прорежьте отверстие диаметром 6 миллиметров; сделайте два таких прямоугольника. Поместите их в рамки проекторов, сузив, таким образом, пучок света, проецируемый на экран.



Р и с. 20. 3. Цветной фильтр, поставленный перед одним из фонарей, наводит дополнительный цвет в пятне, проецируемом другим фонарем.



Р и с. 20. 4. На большой кусок картона (75 на 100 сантиметров) наклейте четыре очень яркие полосы указанных здесь цветов (или раскрасьте соответствующими красками). Этот картон послужит подложкой для листа с отверстиями, показанного на рис. 20. 5.
Расстояние наблюдения — не менее 4,5 метров.

Теперь вы можете продемонстрировать эффект окрашенных теней.

Перед объективом одного проектора поместите цветной фильтр; сделайте его из цветного целлофана (лучше из нескольких слоев, чтобы окраска была достаточно интенсивной). Можно использовать цветное стекло, окрашенную пластмассу — любые прозрачные цветные пластинки. Второй проектор слегка поверните (рис. 20.3), чтобы проецируемые на экран пятна света отчасти перекрывали друг друга. Если вы взяли зеленый фильтр, то часть белого пятна, не покрытая зеленым светом, имеет розовый оттенок. Лучше

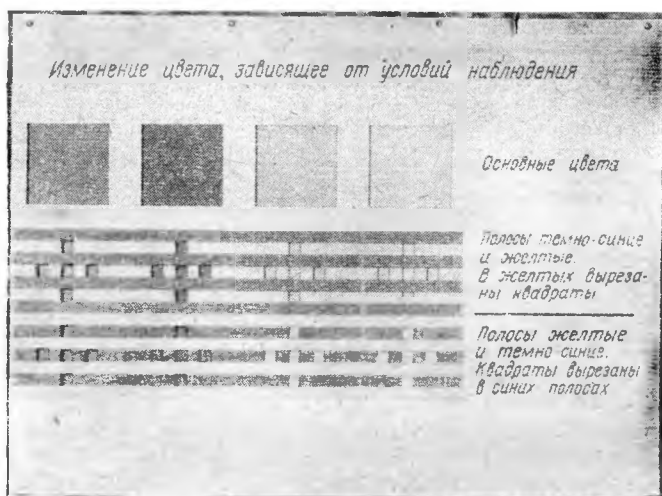


Рис. 20.5. Кусок картона (также 75 на 100 сантиметров) накладывается на подложку (рис. 20.4) Четыре верхних квадратных отверстия показывают цвета четырех столбцов подложки. Ниже наклеены 14 горизонтальных цветных полос; темные вы должны сделать темно-синими, светлые сделайте желтого цвета. Панель сначала устанавливают вертикально. С расстояния около пяти метров наблюдатель хорошо видит цвет каждого квадрата. Во всех квадратах, расположенных против одной и той же полосы, будет виден одинаковый цвет. Затем панель отклоняют от вертикали (верхний край идет назад). При некоторой степени наклона (запомните, при какой именно) наблюдатель замечает поразительное изменение цвета — разное в различных квадратах. Здесь проявляется все то же явление одновременного цветового контраста.

уменьшить яркость белого проектора, например с помощью маски из тонкой бумаги или материи. Но еще лучше регулировать яркость реостатом¹.

С фильтрами разных цветов получается различный эффект. Поместив указку в луче цветного проектора, вы увидите очень своеобразный эффект: тень указки, блокировавшей цвет, заполнится светом от белого проектора и в свою очередь примет оттенок дополнительного цвета. Вы получите удивительнейшие эффекты, если будете экспериментировать с разными цветами.

2. Впечатляющий эффект наведенного цвета можно продемонстрировать с помощью устройств, показанных на рис. 20.4 и 20.5. Вы можете быть уверенными — зрители, наблюдающие эффекты наведенного цвета, будут очень заинтересованы.

ОПЫТ 21. ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ФИГУР

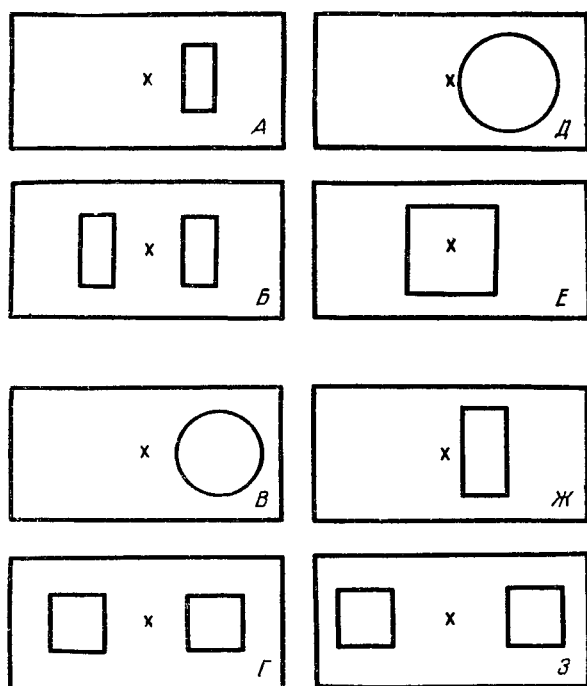
Оборудование: рисунки на плотной бумаге

За границами изображения предмета на сетчатой оболочке глаза не кончается поле ее электрохимической активности. Результат возбуждения участка сетчатки сказывается и за краями изображения, в окружающей его зоне. Эффекты, возникающие вследствие этого, вы можете обнаружить, наблюдая фигуры, показанные на рис. 21.1.

Из плотной белой бумаги вырежьте восемь прямоугольников размером примерно 7 на 14 сантиметров. В центре каждого поставьте значок X — он будет точкой фиксации. Тушью или узкими полосками черной ленты нанесите на бумагу фигуры, как показано на рис. 21.1.

Подложите карту *Б* под карту *А*. Смотрите на карту *А*, как показано на рис. 21.2, фиксируя значок X в течение двух минут. Расстояние между наблюдателем и картой должно составлять примерно 60 сантиметров. Затем уберите карту *А* и смотрите на точку фиксации карты *Б* (рис. 21.3); обратите внимание (не

¹ Но только в небольших пределах, так как сильное изменение накала нити в лампе меняет цвет светового пятна.



Р и с. 21 1. Рисунки, необходимые для наблюдения эффекта последствия (уменьшение примерно в 3—4 раза).

отводя взгляда от точки фиксации) на разницу между правым и левым прямоугольниками.

Теоретически прежний рисунок (правый прямоугольник) должен казаться менее четким, уменьшенным и более удаленным. Повторите опыт с другой парой карт. Вы убедитесь в том, что эффект последствия наблюдается в зоне, не ограниченной краями первого изображения.

Проводя аналогичный опыт с парой карт В и Г, обратите внимание на эффект последствия на правом прямоугольнике: эффект будет, хотя прямоугольник меньше круга и даже не касается его углами; круг попадает в «поле» последствия. Но внутри круга эффект больше, чем вне его. Возьмите карты Д и Е. После двухминутного наблюдения карты Д правая

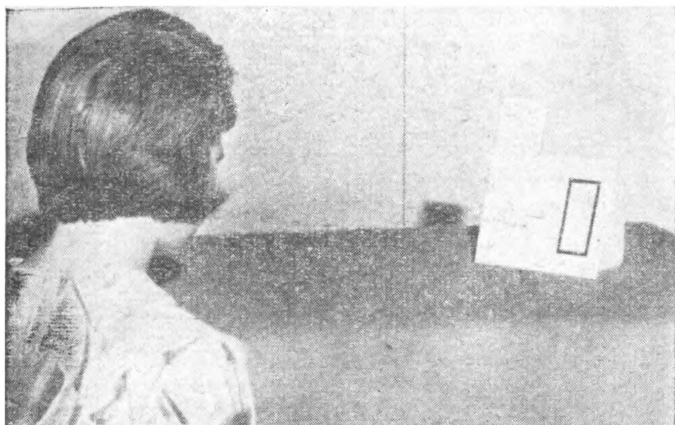


Рис. 21.2. Неподвижная фиксация карты в течение двух минут.

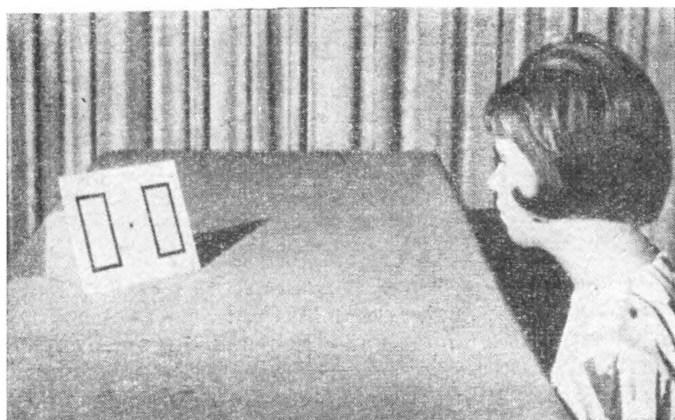


Рис. 21.3. Сравните, как выглядят правый и левый прямоугольники после того, как вы в течение двух минут смотрели на картинку, где был только один правый прямоугольник.

сторона квадрата карты *Е* кажется менее четкой, уменьшенной, расположенной дальше, чем левая сторона квадрата.

Если вы не смогли получить описанные выше результаты, увеличьте время наблюдения первой карты.

На основании того, что вы наблюдали с картами А, Б, В, Г, Д и Е, предскажите результат опыта с картами Ж и З. Проверьте ваши предположения. Существует множество разных фигур, используя которые можно исследовать эффекты последствий. Самостоятельно подберите такие фигуры.

Экспонат для выставки

Для показа явления последствий посетителям выставки изготовьте большие фигуры по образцу вышеописанных. Эффект последствий проиллюстрируйте на схематических рисунках.

ОПЫТ 22. ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

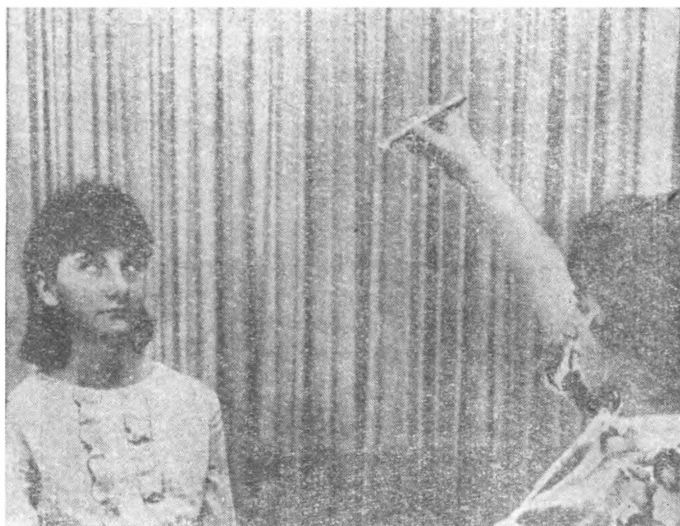
Оборудование: маленький фонарик, мишени для фиксации, зеркало

Наиболее четко вы видите предмет лишь в тех случаях, когда его изображение попадает на центральную ямку сетчатки (вернитесь к схеме 2). Поэтому, если вы хотите разглядеть предмет, вы поворачиваете глаза так, чтобы изображение этого предмета попало на центральную ямку сетчатки. Поворот каждого глаза — результат чрезвычайно тонко согласованной работы шести мышц.

Обычно движения обоих глаз очень точны. Но иногда вы можете уловить некоторую несогласованность, недостаточную точность движений одного или обоих глаз.

Результаты этих опытов вполне объективны. Вы сумеете ясно наблюдать и оценить движения глаз вашего партнера.

I. Движения прослеживания. Когда наблюдаемый предмет движется, глаза наблюдателя совершают *движения прослеживания*. При этом мышцы поворачивают глазное яблоко так, чтобы изображение предмета все время оставалось на центральной ямке сетчатки. Усадите вашего партнера, как показано на рис. 22.1. Точкой фиксации послужит лампа маленького фонаря или просто кончик карандаша. Пусть ваш партнер следит за этой точкой глазами, в то вре-



Р и с. 22. 1. Понаблюдайте движения глаз человека, прослеживающего взглядом движущийся предмет.

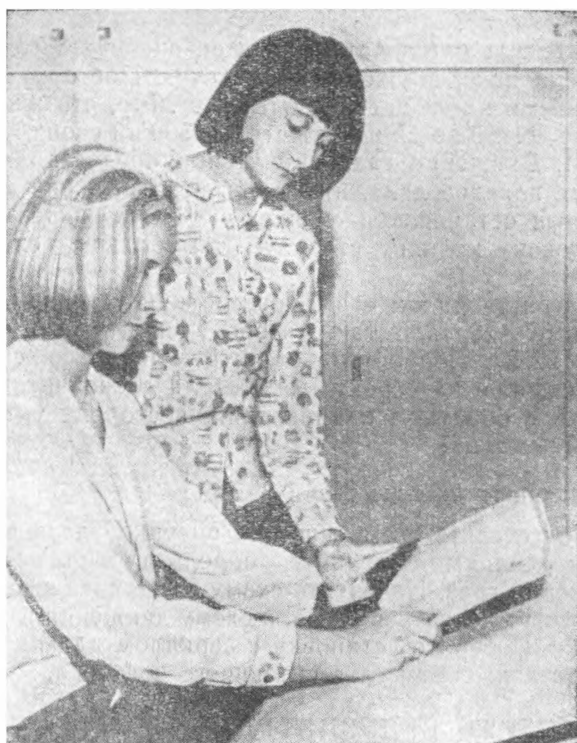
мя как вы медленно описываете ею окружность; измените направление движения на обратное; опишите какую-нибудь другую фигуру, например восьмерку

Совершенны ли прослеживающие движения глаз? Не сопровождаются ли плавные движения скачками, срезанием углов? Не опережают ли глаза движение наблюдаемой точки? Проверьте движения каждого глаза в отдельности и обоих глаз вместе.

В большинстве случаев прослеживающие движения глаз довольно точны.

II. Скачкообразные движения. Перенос взгляда с одного неподвижного предмета на другой называется *фиксационным скачком*. Это движение иного рода, чем движение прослеживания. Сначала глаз ощущает направление на предмет с помощью периферического зрения, а затем мышцы поворачивают глаз так, чтобы изображение предмета попало на центральную ямку сетчатки.

Сделайте две мишени, например круг и квадрат (размером примерно 3 на 3 сантиметра), и прикрепите



Р и с. 22. 2. Держите зеркало так, чтобы видеть, как двигаются глаза человека, читающего книгу.

те каждую к карандашу. Усадите вашего партнера, как и прежде. Сядьте напротив, возьмите в обе руки по карандашу с мишенью и разведите их в стороны так, чтобы ваш товарищ, глядя влево на одну из мишеней, боковым зрением видел бы и другую мишень (справа от себя). По вашей команде он переводит взгляд на правую мишень, затем обратно (в промежутке можно слегка изменить положение той мишени, на которую не обращен взгляд наблюдателя). Как двигаются глаза — плавно или скачками? Верно ли они «удерживают» фиксируемую точку? Проверьте каждый глаз в отдельности и оба вместе.

Спросите наблюдателя, как он оценивает точность фиксационных движений своих глаз. Повторите опыт с разными наблюдателями. Вы увидите, что никто из них не сомневается в точности движений своих глаз.

III. Движения глаз при чтении представляют собой не плавное движение вдоль строки, а ряд фиксационных остановок и скачков¹. Чем меньше число остановок на одну строчку, тем больше скорость чтения.

Встаньте рядом с читающим книгу товарищем и держите зеркало так, чтобы видеть его глаза (рис. 22.2). Попробуйте сосчитать число фиксационных скачков на строку. Делают ли глаза читающего скачки в обратном направлении, в сторону уже прочитанных слов?

Экспонат для выставки

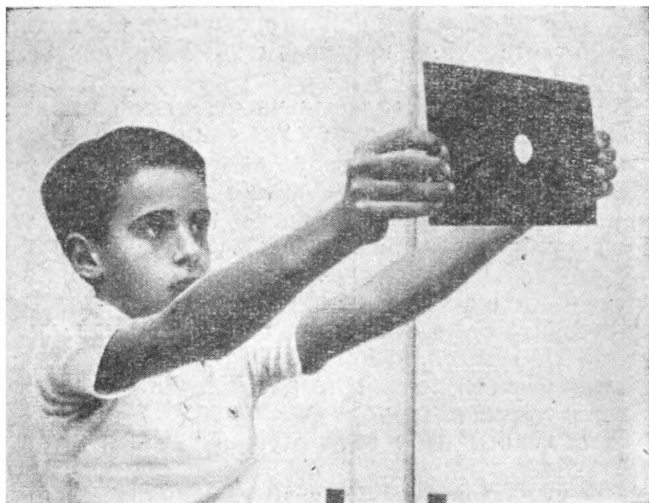
Подготовьте схематические рисунки глаза с глазными мышцами. Сделайте модель для иллюстрации движений глаз. Начертите схему направлений, в которых могут двигаться глаза, и схему движения глаз при чтении. Соберите установку с зеркалом для наблюдения за движением глаз читающего человека.

ОПЫТ 23. ВЕДУЩИЙ ГЛАЗ

Оборудование: кусок картона с отверстием, бумажная труба в виде конуса

Знаете ли вы, что один из ваших глаз «главный», точно так же, как есть у вас главная рука? Называют

¹ Чтение, собственно, осуществляется в промежутках между скачками, именно в эти моменты текст воспринимается. Свободно читающий человек видит за время одной фиксационной остановки не одну букву и даже не одно слово, а сразу несколько слов. Человек, который только учится читать, сначала делает очень много фиксационных остановок на каждой строке — читает он медленно. С усвоением техники чтения скорость все время возрастает, пока не становится постоянной для данного человека; постоянным становится и число фиксационных остановок, а значит, и число скачков на одну строку текста. Сравните быстроту чтения и число скачков учащихся первого класса в начале и в конце учебного года или собственную — при чтении русского и иностранного текста. При этом обязательно надо понимать смысл текста, а не просто глядеть в книгу.



Р и с. 23.1. Когда вы смотрите обоими глазами на отдаленный предмет через отверстие, линия прицеливания соединяет предмет только с ведущим глазом.



Р и с. 23.2. Именно ведущий глаз будет смотреть на далекий предмет через трубу.

этот глаз *ведущим*. Как правило, это глаз, которым вы предпочитаете (или предпочли бы) прицеливаться при стрельбе.

Смотрите обоими глазами на отдаленный предмет через отверстие диаметром 2,5 сантиметра в листе картона. Держите картон на вытянутых руках, как показано на рис. 23.1. Постепенно приближайте картон к лицу, глядя все время на тот же предмет. Когда картон приблизится вплотную к вашему носу, станет ясно, что только один глаз смотрел точно через отверстие — это и есть ведущий глаз.

Повторите опыт с конусовидной бумажной трубой (рис. 23.2). Прodelайте оба опыта по нескольку раз, чтобы проверить, всякий ли раз ведущим оказывается один и тот же глаз.

Сдвоименны ли у вас ведущая рука и ведущий глаз?

По результатам ваших опытов ведущий глаз тот, которым вы «прицеливались». На самом деле все не так просто; нужны другие, весьма различные способы исследования, да и то не всегда удается определить ведущий глаз. А у некоторых людей оба глаза совершенно равноценны, так что ведущий глаз вообще не может быть выявлен.

Экспонат для выставки

Придумайте устройство, с помощью которого можно выявить ведущий глаз. Сделайте схематические рисунки, иллюстрирующие функциональную неравноценность глаз.

ОПЫТ 24. МЫШЕЧНОЕ РАВНОВЕСИЕ ГЛАЗ

Оборудование: щиток

Прикрепите к дальней стене маленький темный кружок — это точка фиксации. Смотрите на нее одним глазом, прикрыв другой щитком. Затем быстро передвиньте щиток на другой глаз. Внимательно следите за пятнышком.

Не кажется ли вам, что оно как бы переместилось в сторону? Может быть, вверх? Вниз? По диагонали?

Зависит такое кажущееся перемещение от не вполне одинакового тонуса мышц обоих глаз. Тема эта сложная, и мы ее лишь чуть-чуть коснемся. Не у всех людей мышцы глаз одинаково уравновешены. Чтобы убедиться в этом, вам следует немного поэкспериментировать.

Когда один глаз прикрыт, он может немного отклониться, потому что тонус его мышц не совсем такой же, как у другого глаза. Отклонение возможно в любую сторону, на большую или меньшую величину; его может и совсем не быть. Если глаз наблюдателя, выключенный из зрения, отклоняется, то при переключении зрения на этот глаз наблюдатель заметит «движение» фиксационной точки. При большом расстоянии до точки кажущееся смещение ее невелико.

Повторите опыт, фиксируя кончик карандаша, находящегося от вас на расстоянии всего 40 сантиметров. Теперь вы, вероятно, заметите «скачок» кончика карандаша, когда перенесете щиток с одного глаза на другой. В какую сторону он «прыгает», — туда, куда вы смещаете щиток, или в противоположную сторону? По направлению и величине такого «скачка» специалист судит о состоянии мышечного равновесия глаз.



Рис. 24.1. Экспериментатор следит за движениями левого глаза в момент, когда щиток перемещается с правого глаза на левый.

Вы можете наблюдать не кажущееся движение точки, а подлинное движение глаза вашего партнера, в то время как он смотрит на близкий предмет попеременно каждым глазом. Следите за левым глазом наблюдателя в момент, когда он, глядя на кончик карандаша, передвигает щиток на правый глаз.

ОПЫТ 25. КОНВЕРГЕНЦИЯ ГЛАЗ

Оборудование: карандаш

Глаза движутся не только из стороны в сторону. Чтобы удержать изображение наблюдаемого предмета на центральной ямке сетчатки, когда предмет приближается, глаза поворачиваются навстречу друг другу. Это движение называют *конвергенцией*. Когда предмет удаляется, глаза отворачиваются один от другого, пока не станут прямо (зрительные оси в это время практически параллельны). Это движение называют *дивергенцией*.

У разных людей максимальная величина конвергенции неодинакова. Вы можете ее измерить, наблюдая положение глаз вашего партнера в то время, когда он смотрит на кончик карандаша, который вы медленно приближаете к его переносице (начните с расстояния 30—35 сантиметров). Вы замечаете момент, когда достигнут предел конвергенции: один глаз внезапно отклоняется, симметрия направления глаз на объект нарушается. В это же время или немного раньше наблюдатель может заметить, что кончик карандаша «раздвоился».

Повторите этот опыт с разными наблюдателями. Кое у кого конвергенция будет симметричной вплоть до момента, когда расстояние между предметом и переносицей станет равным примерно 5 сантиметрам. У других предел конвергенции будет достигнут уже на расстоянии 25—30 сантиметров.

Чем больше развита конвергенция, тем лучше. Но не следует делать поспешных выводов в любом случае, так как мы здесь не рассматриваем всех фактов, существенных для оценки этой функции глаз.

Можно составить представление о механизмах конвергенции, наблюдая движения глаз, когда ваш парт-



Р и с. 25. 1. Постепенно приближая к наблюдателю предмет, на который он смотрит, экспериментатор видит, как глаза наблюдателя конвергируют. Это лучше заметно, если держать предмет чуть выше уровня глаз наблюдателя.

нер попеременно переводит взгляд с близко расположенного (скажем, на расстоянии 25 сантиметров) предмета на далекий (примерно 3 метра). Начинает ли движение один глаз или оба вместе? Быстро ли происходит конвергенция? Движения должны выполняться по вашей команде, а вы стойте поближе и наблюдайте за движением глаз как можно внимательнее.

Экспонат для выставки

Сделайте схематические рисунки глаз с глазными мышцами. Покажите, как глаза движутся вместе, конвергируют, дивергируют.

ОПЫТ 26. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ДВОЕНИЕ

Оборудование: два карандаша, шнур

В прошлом опыте наблюдатель, глядя на удаленный предмет, видел двойное изображение близкого

предмета (и наоборот). Такое двоение называется *физиологическим двоением*. Образ предмета удвоен потому, что его изображение попадает на участки сетчатки обоих глаз, не связанные между собой в нервной системе так, чтобы из двух изображений составлялся один образ. О подобных участках говорят, что они «не корреспондируют» (не связаны между собой). Наблюдателю кажется, что изображения (попадающие на такие участки) принадлежат предметам, находящимся в различных точках пространства.

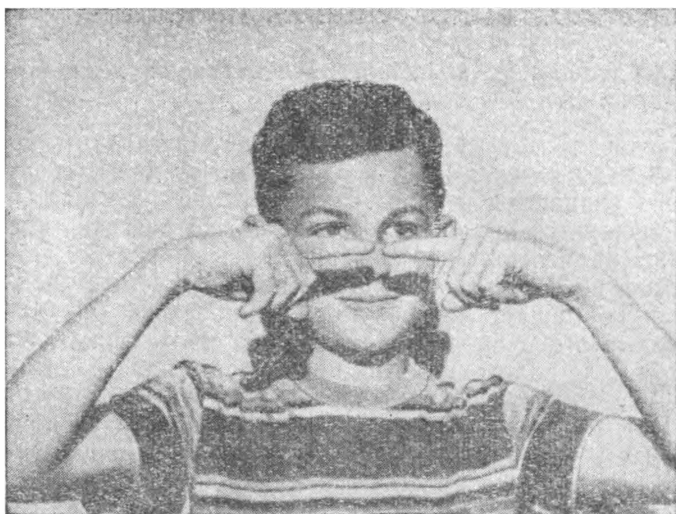
Опыт легко провести хотя бы с помощью двух карандашей. Держите один, согнув руку (кончик карандаша должен быть на уровне глаз на расстоянии примерно 35 сантиметров от них); другой карандаш держите в вытянутой руке (кончик его чуть выше уровня глаз). Оба карандаша располагаются примерно на одной линии. Глядя на ближний карандаш, вы увидите, что дальний в это время двоится. Переведите взгляд на дальний — он будет виден одиночно, а ближний покажется удвоенным.

В большей или меньшей степени дwoятся почти все окружающие вас предметы, за исключением того, на котором вы фиксируете взгляд, но двоение не заметно потому, что окружающие предметы воспринимаются малочувствительным к двоению боковым зрением. К тому же вы привыкли к такому двоению и не обращаете на него внимания.

Конец трехметрового шнура прикрепите к стулу, или к ручке двери, или дайте кому-нибудь в руки. Другой конец приложите к собственному носу. Смотрите на дальний конец шпагата. Вы замечаете, что ближняя к вам часть шнура «раздвоилась», причем двоение тем меньше, чем дальше данный участок шпагата, так что весь он образует перевернутую букву V.

А теперь переведите взгляд на какой-нибудь близкий участок шнура. Этот участок не будет раздваиваться, а весь остальной шпагат покажется удвоенным, причем в целом он будет похож на букву X. А когда вы посмотрите на ближайший участок шпагата, то весь он примет форму буквы V с вершиной у вашего носа.

Иногда этот опыт сразу не получается, приходится потренироваться. Бывает, что на время такого опыта



Р и с. 26. 1. Если смотреть таким образом на отдаленный предмет, кажется, что между кончиками пальцев плавает «дополнительный палец».

один глаз самопроизвольно выключается — тогда двоения, конечно, не произойдет. Если вам все же не удалось получить описанный выше результат, обратитесь к окулисту для проверки бинокулярного зрения.

Есть еще один интересный способ получить заметное физиологическое двоение. Смотрите на удаленный предмет и держите в это время пальцы, как показано на рис. 26.1. Вы увидите плавающий между вашими пальцами «дополнительный палец».

Экспонат для выставки

Отработайте опыт со шнуром и демонстрируйте его желающим. Начертите схемы, показывающие, как возникает двоение. С помощью двух предметов — близкого и далекого — можно показать двоение,

ОПЫТ 27. БИНОКУЛЯРНАЯ ПРОЕКЦИЯ

Оборудование: колышки на подставках, лист фанеры или плотного картона

Человек смотрит одновременно двумя глазами, но видит каждый предмет как один; в мозгу два изображения сливаются в одно. Такое зрение называется *бинокулярным одиночным зрением*. Но назвать — не значит объяснить, а объяснение здесь непростое. Например, неясно, почему двоение нефиксируемых предметов не мешает человеку ориентироваться (вы наблюдали это в предыдущем опыте). Быть может, на самом деле положение этих предметов в пространстве воспринимает только один глаз?

Нет, при бинокулярном зрении оба глаза воспринимают все направления в пространстве одновременно — как один воображаемый «циклопический» глаз, расположенный примерно в переносице, то есть на середине линии, соединяющей зрачки реальных глаз.

Уложите лист фанеры или картона длиной около 120 сантиметров на журнальный столик или просто устройтесь у достаточно длинного стола, как показано на рис. 27.1. У дальнего края стола на средней линии (против носа наблюдателя) поставьте высокий зеленый колышек. Во время опыта голова наблюдателя должна быть совершенно неподвижной¹.

Сначала наблюдатель прикрывает левый глаз и смотрит на зеленый колышек правым глазом. Экспериментатор ставит на стол короткий голубой колышек и двигает его по указаниям наблюдателя так, чтобы голубой колышек был виден на одной линии с зеленым. При этом расстояние между глазом и голубым колышком должно быть около 30 сантиметров. После этого наблюдатель закрывает правый глаз (голова неподвижна!) и экспериментатор устанавливает короткий красный колышек так, чтобы он был виден на одной линии с зеленым.

¹ Постарайтесь установить какую-нибудь опору для его лба и подбородка, например деревянную рамку, обернутую мягкой материей. Рамку нужно установить на опоре и отрегулировать ее положение так, чтобы глаза наблюдателя были чуть выше края листа. Сидеть на полу совершенно не обязательно — это читатель, без сомнения, понимает и сам.



Р и с. 27. 1. Наблюдатель показывает под столом место, против которого, как ему кажется, находятся колышки. Он не видит своей указки и делает все на ощупь. Экспериментатор отмечает указанное место, например, положив на него кусочек бумаги.

Затем наблюдатель открывает оба глаза и смотрит на дальний колышек. Он видит перед собой не два, а три коротких колышка, причем средний из них имеет смешанную красно-синюю окраску и за ним виден высокий зеленый колышек. Несуществующий средний колышек виден дальше, чем два крайних, — примерно на середине расстояния от глаз до зеленого колышка. Проверьте это, предложив наблюдателю показать концом линейки под столом то место, над которым стоят крайние и средний колышки.

На самом деле никакого среднего колышка, конечно, нет, но наблюдатель его видит столь же ясно, как и те, что реально существуют. Впрочем, экспериментатор должен заметить, что положение реальных коротких колышков наблюдатель также указывает неверно: когда открыты оба глаза и взгляд направлен на далекий предмет, близкие предметы видны не там, где они находятся на самом деле. Достаточно наблюдателю

прикрыть один глаз, и средний колышек исчезает, а короткие становятся на свои места.

Вы можете проделать еще несколько опытов с вашей установкой. Поставьте высокий колышек близко, а короткие установите у дальнего края стола. Поочередно смотрите каждым глазом так, чтобы для правого глаза на одной линии с зеленым был красный колышек, а для левого — голубой. Исследуйте другие варианты.

Экспонат для выставки

Эту же установку можно демонстрировать посетителям. Для объяснения результатов опыта сделайте схему бинокулярной проекции по рис. 27.2.

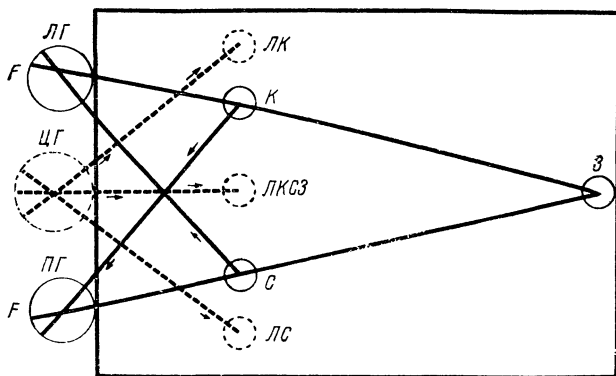


Рис. 27.2. Правый глаз (ПГ) и левый глаз (ЛГ) направлены на зеленый колышек (З), более высокий, чем два других. Синий колышек (С) стоит в том месте, где он при взгляде одним правым глазом находится на одной линии с зеленым. Красный колышек (К) установлен тоже по одной линии с зеленым, но при закрытом правом глазе. ЦГ — «циклопический глаз» бинокулярного зрения, то есть одиночный образ, в котором сливаются изображения из правого и левого глаза. Пунктиром показаны места, в которых видятся колышки относительно неподвижной головы наблюдателя; ЛКСЗ — это ложный красно-сине-зеленый колышек, который виден прямо по средней линии; ЛК — ложный красный — образ, принадлежащий только правому глазу; ЛС — ложный синий — левому глазу. Можете это проверить, прикрыв поочередно сначала один глаз, затем другой. Попробуйте разобраться, почему видны ложные колышки.

ОПЫТ 28. БИНОКУЛЯРНОЕ ЗРЕНИЕ

Оборудование: кусок картона с отверстием и натянутой поперек нитью, набор парных фигур, полоска картона

На сетчатке каждого глаза формируется собственное изображение наблюдаемого предмета, но обоими глазами мы видим одиночный образ этого предмета. Как сливаются два изображения в один образ? Быть может, одно изображение или части обоих изображений «выключаются» (подавляются)? Или изображения полностью соединяются? В зависимости от свойств каждого изображения происходит в той или иной мере и одно, и другое, и третье.

Результаты опытов по исследованию бинокулярного зрения зависят прежде всего от того, как работает зрение наблюдателя. У разных людей все получится немного по-разному, в зависимости от способности глаз к конвергенции, остроты зрения каждого глаза и многого другого. Но в главном результаты у всех будут сходными — надо лишь тщательно подготовить фигуры, которые вы будете наблюдать.

Возьмите кусок картона с квадратным отверстием (сторона квадрата 36 миллиметров). За отверстием натяните вертикально пересекающую его по центру узкую полоску черной бумаги (нить). Смотреть надо на нить — во время опыта она должна быть видна одиночно.

На столе установите пару фигур (например, такую, как на рис. 28. 1). Плавню приближайте и удаляйте от себя картон с отверстием, пока не найдете то положение, при котором нить видна одиночно, а обе фигуры накладываются одна на другую, сливаются.

Разберитесь в том, как это получается. Прищурьте левый глаз — вы обнаружите, что правый видит нить и за ней левую фигуру (*ЛФ*), прикрыв правый глаз, вы увидите нить и правую фигуру (*ПФ*); разобраться вам поможет схема на рис. 28. 2.

Во время опыта фигура видна не очень четко, так как глаза фокусируют изображение нити, которая находится ближе. Тем не менее слияние (или по крайней мере совмещение) происходит, а после некоторой тре-

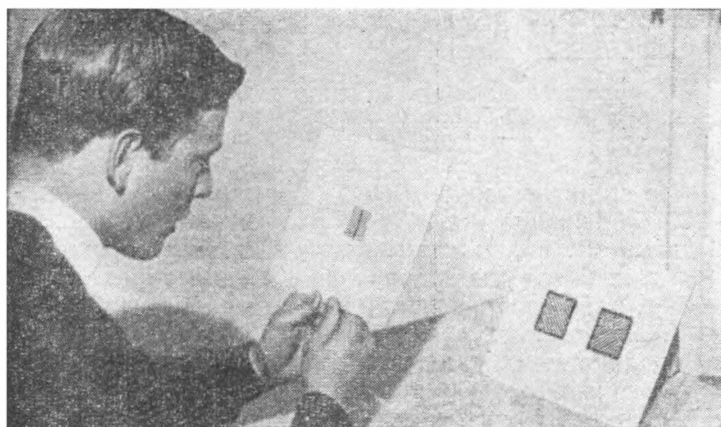


Рис. 28. 1. Фиксируя черную нить, подберите такое расстояние между картонным щитком в ваших руках и листом с фигурами, при котором обе фигуры окажутся наложенными одна на другую.

нировки человек, особенно молодой, сможет четко видеть и фигуры и нить.

Соперничество фигур. Изготовьте пару фигур, обозначенную буквой А на рис. 28.3. Сторона каждого квадрата — около 5 сантиметров, промежуток между ними — примерно 2,5 сантиметра. Установите их, как показано на рис. 28. 1, и проведите опыт.

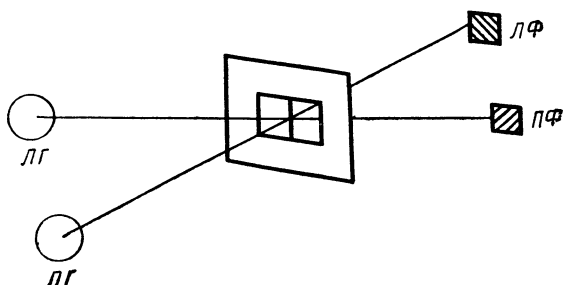
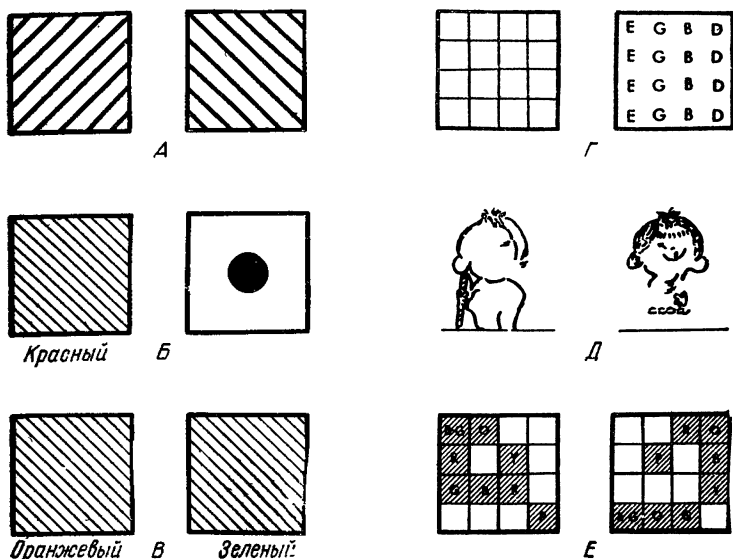


Рис. 28. 2. Правый глаз (ПГ) видит нить и (на той же линии) левую фигуру (ЛФ); правая заслонена краем щитка. Левый глаз (ЛГ) видит нить и правую фигуру (ПФ). Когда линии зрения обоих глаз пересекаются под определенным углом, обе фигуры накладываются одна на другую.



Р и с. 28. 3. Пары фигур для бинокулярного совмещения.

Вид совмещенной фигуры непостоянен: сначала преобладают линии одного направления, затем противоположного, снова первые, затем вторые. Иногда виден узор типа плетеной корзины. Посчитайте число изменений видимой картины за минуту и сравните с результатами других наблюдателей.

Подавление изображения. Теперь возьмите пару фигур *Б*. Левая — красный (или любого другого цвета) квадрат, а правая — черный круг на ярком белом фоне. Вы замечаете, что в совмещенной фигуре окраска то слабеет, то усиливается, а вокруг черного кружка имеется постоянный белый ореол: резко контрастная граница черного с белым — настолько сильный раздражитель, что в этой области левое (окрашенное) изображение полностью подавлено. Повторите тот же опыт, меняя диаметр черного круга, цвет и яркость фона, цвет и яркость левой фигуры. Поменяйте фигуры местами.

Совмещение и слияние цветов. Пара фигур *В* — это просто разноцветные квадраты. Возможны любые

комбинации цветов. Если вы подберете такую пару, цвета которой действительно дополняют друг друга, то, слившись, они дадут белый квадрат. Правильно подобранные по тону красный и зеленый при слиянии дадут желтый цвет.

При бинокулярном слиянии можно получить много интересных оттенков. После слияния исходные цвета дают нечто совершенно отличное от цвета, видимого только одним глазом (то есть монокулярно).

Блеск. Сделайте два квадрата, подобных *В*, но один из них должен быть матово-черным, а другой — либо красным с блестящей поверхностью, либо белым, но тоже блестящим. То, что вы видите, когда сливаются такие фигуры, называется блеском; но в данном случае нет настоящего слияния: обе фигуры видны одновременно, а в восприятие «проходит» только ряд совместимых характеристик предметов. Так объясняется феномен блеска¹.

Полное слияние (фузия). Вопрос, который исследуется в этих опытах, до конца не выяснен, и мнения ученых противоречивы. Что происходит, когда два изображения вполне одинаковы? Предположим, оба квадрата в паре *В* голубые. Который из них виден при бинокулярном зрении? А если мы видим оба, то отличается ли слитый образ от образа одного из квадратов? Для того чтобы глубоко исследовать эти вопросы, необходимо гораздо более сложное оборудование.

Очень интересно изучить пары *Г*, *Д* и *Е*. Попробуйте предсказать результаты опытов с этими парами. Число комбинаций, с которыми вы можете экспериментировать, бесконечно.

С помощью пары *Г* вы можете познакомиться с явлением подавления части бинокулярного образа. Посмотрите, все ли буквы попадают в соответствующие квадраты? С парой фигур *Д*, в случае если бинокулярное слияние будет хорошим, должна получиться полная фигура мальчика. Фигуры *Е* составлены из разноцветных квадратов. Какой эффект получается при бинокулярном наблюдении?

¹ Чтобы не путать его с простым блеском — результатом сильного отражения света — или со стереоскопическим блеском (с ним вы познакомитесь позднее), лучше называть явление, с которым вы встретились в этом опыте, «блеск слияния».



Рис 28.4. Если черная полоска не закрывает текста в процессе чтения, значит, оба глаза работают одновременно.

Участвуют ли оба глаза в зрении при самых обычных условиях? Это можно узнать без большого труда. Посмотрите на рис. 28.4. На полдороге от книги к глазам (по линии «нос — корешок книги») поместите полоску черного картона шириной около 2,5 сантиметра; она не мешает вам читать (голова неподвижна!) — значит, вы видите бинокулярно. Проверьте это. Закройте левый глаз, потом откройте его. Повторите опыт, закрыв правый глаз.

Теперь вам ясно, что в этом опыте весь текст виден только при бинокулярном зрении. Можете проверить бинокулярность и глядя вдаль: поставьте картонную полоску в 30 сантиметрах от глаз. Она, конечно, двойт-ся, но закрывает ли она какие-нибудь отдаленные предметы? Объясните, почему вы видите в этом опыте так, а не иначе.

Экспонат для выставки

Отверстие с нитью, которое вы использовали в опыте слияния фигур, это в сущности заменитель

стереоскопа. С помощью стереоскопа наши опыты могут быть проделаны очень легко. Модель стереоскопа довольно просто изготовить самим (см. рис. П.4).

Со стереоскопом вы можете провести множество превосходных опытов. Для показа бинокулярных эффектов придумайте собственные пары фигур. Ваша аудитория может пользоваться приборами, которые вы изготовите самостоятельно, и собственными глазами убедиться в справедливости того, о чем вы расскажете.

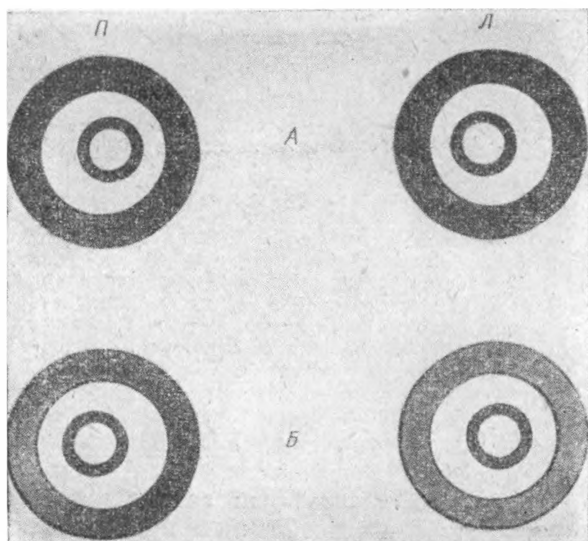
ОПЫТ 29. СТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ ГЛУБИНА

Оборудование: фигуры, составляющие стереопару

При бинокулярном слиянии двух изображений возникает эффект, о котором не упоминалось в опыте 28. Этот эффект лучше изучать особо. Когда вы смотрите на два изображения, слегка асимметричные по отношению друг к другу, при их слиянии у вас возникает ощущение объемности. Это и есть эффект стереоскопической глубины, или просто стереоэффект.

Посмотрите на две пары фигур рис. 29.1. Все кольца, естественно, находятся в плоскости страницы. Теперь положите карандаш на страницу так, чтобы его кончик был точно в месте буквы А. Возьмите карандаш за другой конец и постепенно приближайте к глазам. Смотрите все время на кончик карандаша! Вместо двух фигур на странице появятся четыре в ряд, а затем, когда вы еще более приблизите к себе карандаш, средние сольются в одну. Остановите карандаш в этой точке и, глядя на его кончик, попытайтесь заметить, что средняя фигура не плоская, ее внутренняя окружность видна гораздо глубже, дальше, чем наружная. Получить результат в этом опыте не так-то просто¹. Быть может, вам придется пово-

¹ Собственно, все опыты, в которых надо «слить» две фигуры в одну, можно выполнять без всякого оборудования: достаточно, например, скосить оба глаза симметрично к носу — как будто вы смотрите на нить или карандаш. Потренируйтесь — обязательно получится. Для многих людей сделать это гораздо проще именно так. И не бойтесь — это не ведет к косоглазию.



Р и с. 29. 1. Пары фигур *А* и *Б* для демонстрации стереоэффекта. Нарисуйте точно такие же, а еще лучше — вырежьте из черной бумаги два маленьких и два больших кольца и затем экспериментируйте, смещая маленькие кольца внутри больших. Посмотрите, что получится, если внутри маленьких колец поместить еще по одному.

зиться, прежде чем вы подберете наилучшее расстояние от страницы до карандаша, от глаз до карандаша и научитесь хорошо видеть фигуры, глядя не на них, а на кончик карандаша. Повторите тот же опыт с фигурами *Б*. Какое кольцо теперь вам кажется ближе?

Как возникает стереоэффект? Фигуры *П* и *Л* немного асимметричны: маленькие окружности в паре *А* смещены к центру, в паре *Б* — от центра. Когда вы смотрите на кончик карандаша, приблизив его к глазам, ваш правый глаз нацелен на фигуру *П*, а левый — на *Л*. Это те же условия, что и в опыте с нитью (опыт 28). Только сейчас изображения фигур на сетчатках глаз чуть асимметричны, а когда такие изображения сливаются в мозгу, возникает стереоэффект. При выполнении всех описываемых здесь опытов по

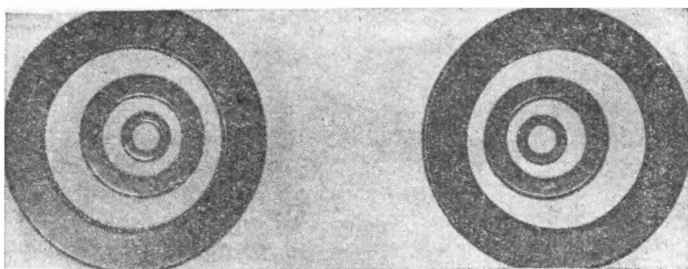


Рис. 29.2. Каждое внутреннее колечко немного сдвинуто к середине фигуры; из-за этого возникает эффект глубины. В таких фигурах, где правому глазу виден левый рисунок, а левому глазу — правый, колечки, сдвинутые внутрь, покажутся наиболее далекими.

изучению бинокулярного зрения и стереоэффекта вы можете применять стереоскоп¹.

Впечатляющий стереоэффект получается в случае фигур, показанных на рис. 29.2: как будто смотришь в длинный туннель. Стереопары можно рассматривать и через отверстие с нитью, как в опыте 28, но лучше отверстие сделать круглым. Такое приспособление удобнее карандаша: вам не мешают посторонние фигуры.

Самостоятельно нарисуйте различные стереопары, меняйте их форму и цвет. Используйте квадраты, треугольники, линии — что угодно, только помните, что некоторые контуры парных фигур надо сделать немного асимметричными относительно центра. Вы получите много интересных стереоэффектов и с простыми и со сложными узорами. Пусть поработает ваше воображение.

Экспонат для выставки

Если у вас есть два проектора и поляроидная пленка или пластинки-поляроиды, вы сможете показать

¹ В стереоскопе относительная глубина будет обратной, так как вы видите фигуры, составляющие стереопару, не крест-накрест, а прямо: правым глазом — правую, левым глазом — левую фигуру.

стереоэффект на экране или на стене. Каждую фигуру проецируйте через поляроид, ориентированный по-своему: наблюдатели смотрят через поляроидные очки, в которых каждая пластинка ориентирована так, что правый глаз видит только левую картинку, а левый глаз — правую.

ОПЫТ 30. ВОСПРИЯТИЕ ГЛУБИНЫ

Оборудование: самодельный стержневой глубинно-глазомерный прибор

Восприятие глубины можно исследовать с помощью стержневого прибора, показанного на рис. 30.1. Один вертикальный стержень закрепляется посередине между передней и задней стенками установки. Основание второго стержня скользит по направляющим, так что этот стержень можно перемещать к передней или задней стенке, натягивая левой или правой рукой соответствующий конец шпагата, пропущенный через основание подвижного стержня и блок, укрепленный у задней стенки. Через прямоугольное отверстие в передней стенке наблюдатель видит только среднюю часть

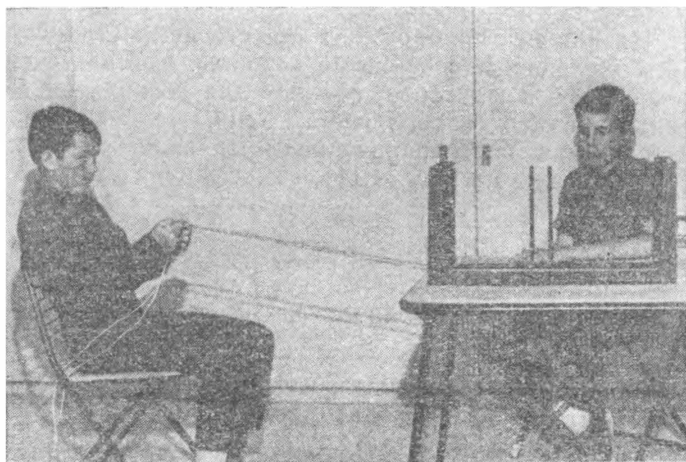


Рис. 30.1. Стержневой прибор для исследования глубинного зрения.

обоих стержней — черные стержни на фоне белой задней стенки. Вдоль направляющих укреплен линейка с делениями¹.

Наблюдатель усаживается на расстоянии не менее 3,5 метра от неподвижного стержня. Экспериментатор, прикрыв окошко в передней стенке, смещает подвижный стержень, затем открывает окошко и предлагает наблюдателю установить второй стержень точно вровень с первым. Повторите опыт не менее пяти раз, после чего выведите оценку — среднее отклонение от нулевой ошибки.

Установка очень похожа на современные аппараты для исследования глубинного зрения, но все же не следует рассматривать ваши результаты как абсолютные показатели хорошего или, наоборот, плохого глубинного зрения. Попробуйте провести этот опыт, глядя одним глазом и двумя. Сравните результаты. При этом сначала держите голову совершенно неподвижной, а затем повторите моно- и бинокулярные наблюдения, слегка покачивая головой. Сравните результаты. Выводы, которые вы получите, интересны даже с научной точки зрения.

Экспонат для выставки

На вашем приборе вы можете демонстрировать всем желающим восприятие глубины. Составьте список основных факторов, важных для восприятия глубины: размер изображения, тени, геометрическая перспектива, посторонние предметы, видимый размер (см. иллюзию на рис. 34.11), атмосферная дымка.

ОПЫТ 31. СТЕРЕОФЕНОМЕН ПУЛЬФРИХА

Оборудование: белая нить, грузик, кусок темного стекла

Это один из самых интересных опытов. Эффект, который вы будете наблюдать, нельзя назвать ни обще-

¹ Нулевое деление должно соответствовать положению неподвижного стержня. Поэтому лучше взять две линейки и считать положительным перемещение по направлению к передней стенке и отрицательным — к задней стенке.

известным, ни вполне понятным. Его можно было бы назвать обманом зрения, потому что вы видите «глубину» там, где ее на самом деле нет. Но механизм возникновения этой иллюзии близок к основному механизму нормального стереоэффекта.

Белый грузик, например пуговицу, диаметром около двух сантиметров закрепите на конце белой нити (лески). Пусть экспериментатор раскачивает нить наподобие маятника. Смотреть на грузик лучше всего на фоне гладкой светлой стены. Наблюдатель отходит на расстояние 1—1.5 метра от грузика, раскачиваемого экспериментатором плавно, равномерно и обязательно в одной плоскости. Сначала наблюдатель должен убедиться, что качание действительно происходит в одной плоскости. После этого он ставит перед одним глазом темное стекло (или пластинку, вынутую из противосолнечных очков) и смотрит на маятник обоими глазами.

Наблюдайте очень внимательно и вы заметите, что маятник теперь качается не в одной плоскости, а как

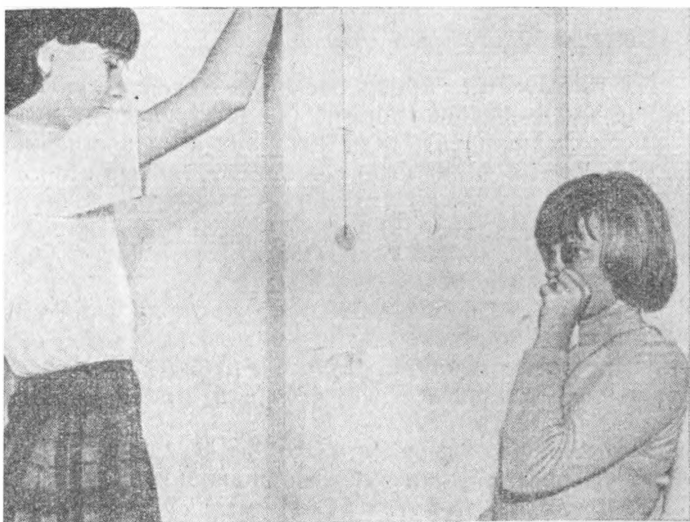


Рис. 31.1. Грузик на конце нити раскачивается в одной плоскости. Когда наблюдатель ставит перед одним глазом темное стекло, ему кажется, что маятник как бы описывает эллипс.

бы по кругу. Поставьте темное стекло перед другим глазом — круговое движение совершается в противоположном направлении. Этот эффект известен как «стереофеномен Пульфриха».

Как можно его объяснить? Дело, по-видимому, в скорости передачи изображений грузика на последовательных отрезках его пути. Считается, что светлое и темное изображения достигают мозга неодновременно (темное позднее), так что в любой данный момент времени происходит слияние различных изображений, поступающих в мозг от правого и левого глаза. Это вызывает появление эффекта глубины, подобного стереоэффекту, с которым мы знакомимся в опыте 29.

Экспонат для выставки

Соорудите коробку с качающимся маятником внутри. В передней стенке коробки поставьте съемный темный фильтр для одного глаза.

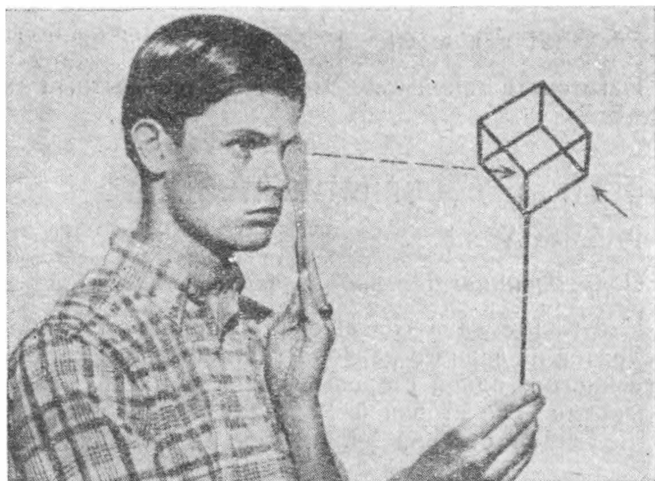
ОПЫТ 32. КУБ-ПЕРЕВЕРТЫШ

Оборудование: проволочный куб

Из 12 круглых проволочек или палочек сделайте каркас куба, как показано на рис. 32.1. Эффект будет лучше, если покрасить весь материал в матово-черный цвет. Сделайте сначала две четырехугольные стороны каркаса, а затем скрепите их четырьмя палочками. К одному из углов прикрепите палочку подлиннее — держалку. Все можно сделать на клею и затем укрепить черной ниткой.

Держите куб перед собой так, чтобы дальний угол его (на рис. 32.1 — сплошная стрелка) был виден примерно посередине одной из сторон куба (линия взгляда на рис. 32.1 показана пунктирной стрелкой). Другой глаз закройте.

Смотрите не отрываясь на дальний угол куба. Внезапно вы увидите, как куб «выворачивается наизнанку» так, что дальний угол кажется торчащим впереди, самым близким. При медленном вращении палочки куб «переворачивается» в направлении, противоположном направлению вращения. Подвигайте палочку



Р и с. 32.1. Наблюдение куба-перевертыша (иллюзия куба фон Хорнбостля).

взад — вперед, и вы увидите, как странно ведет себя куб-перевертыш.

Предварительно потренируйтесь, чтобы научиться видеть все как следует. Лучше проводить опыт на фоне гладкой стены. Если опыт не получается, попробуйте сменить фон, чуть поверните куб, наклоните или слегка деформируйте его. Немного повозившись, вы будете наблюдать эффект совершенно отчетливо. Помните, что он получается, только когда вы смотрите одним глазом¹.

Этот эффект называют «иллюзия куба фон Хорнбостля». Когда работают оба глаза вместе, они видят глубину так хорошо, что этим кубом их не обманешь, а вот один глаз обязательно ошибется, определяя, которая часть куба ближе. Эта иллюзия — одна из самых интересных.

¹ Это утверждение соответствует распространенному среди исследователей мнению; тем не менее оно неверно. У некоторых людей, в том числе и у меня, эффект получается и при наблюдении обоими глазами. Главное — неподвижно фиксировать взгляд обоих глаз на одном (дальнем) углу куба.

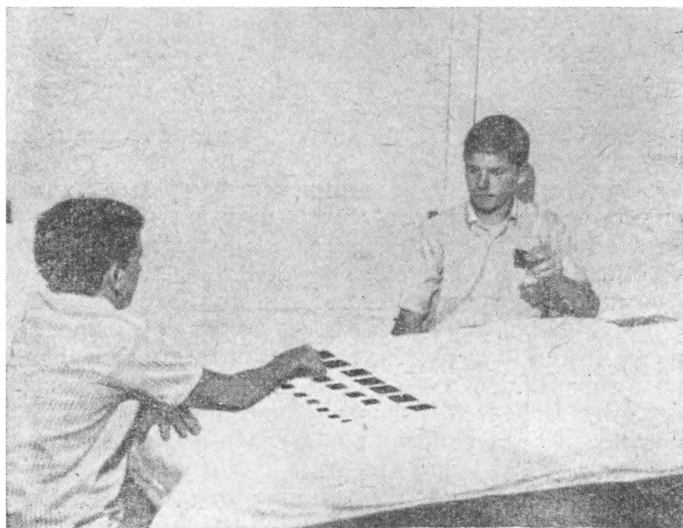
Экспонат-для выставки

Изготовьте такой куб. Это очень любопытный экспонат.

ОПЫТ 33. ВОСПРИЯТИЕ ВИДИМОГО РАЗМЕРА

Оборудование: два набора черных квадратов

Изготовьте два совершенно одинаковых набора квадратов из черного картона (или обычного картона, оклеенного с одной стороны черной бумагой): самый маленький — со стороной 12 миллиметров, в каждом последующем сторона удлиняется на 3 миллиметра;



Р и с . 33. 1. Наблюдатель указывает в своем наборе тот квадрат, который он считает равным показываемому квадрату всего в наборе 25 квадратов; длина стороны самого большого квадрата (№ 25) 84 миллиметра. Пронумеруйте квадраты только с одной (обратной) стороны. Наблюдатель сидит перед набором, разложенным в

С расстояния один метр экспериментатор показывает десять квадратов, выбранных произвольно, самых разных размеров. Те же десять квадратов (снова в

[illegible]

Р и с. 33.2. Карта для записи результатов опыта по восприятию размера

случайном порядке). показываются испытуемому с расстояний два, четыре и, наконец, восемь метров. Кроме десяти квадратов, показанных в первый раз, надо показать еще несколько, но ответов по ним не учитывать — это делается лишь для того, чтобы испытуемый не запомнил отобранных десяти квадратов.

Результаты записывайте в таблице по типу той, что показана на рис. 33.2. В левой колонке проставьте но-

мера десяти квадратов, которые вы используете. Каждый раз записывайте номер квадрата, указанного наблюдателем, против номера показанного вами квадрата. После завершения опыта подсчитайте ошибки. Разность между номером предъявленного квадрата и номером квадрата, названного наблюдателем, указывайте со знаком плюс, когда последний больше первого, и со знаком минус, когда выбранный для ответа квадрат меньше показанного.

Подсчитайте общую ошибку для каждого расстояния, а затем для всего опыта: сложите отдельно все плюсовые и минусовые ошибки, подсчитайте разницу между ними и укажите ее со знаком большей итоговой ошибки. Это общий результат опыта.

Если бы видимый размер предмета зависел только от размера его изображения на сетчатке глаза, то с увеличением расстояния до предмета, скажем, в два раза, видимый размер предмета уменьшился бы тоже в два раза, а в нашем опыте с увеличением расстояния от одного до восьми метров видимый размер квадратов должен был бы уменьшиться в восемь раз — наблюдатель называл бы квадраты, соответствующие такому уменьшению. При увеличении расстояния суммарная ошибка всегда имела бы знак минус и возрастала бы по величине.

Если бы видимый размер совершенно не зависел от расстояния, то есть видимый размер не менялся, суммарная ошибка была бы равна нулю. Но в результате опыта вы всегда получите некоторую ошибку наблюдения, иногда — с итоговым знаком плюс.

В действительности восприятие размера находится где-то в промежутке между полным постоянством (константностью, или инвариантностью) и полной зависимостью от величины изображения предмета на сетчатке. Поэтому с увеличением расстояния вы, наверное, получите суммарную ошибку, которая будет все больше стремиться в сторону минуса. Несомненно, что между результатами разных наблюдателей будут и индивидуальные различия. Но также несомненно, что видимый размер предмета уменьшается с его удалением, конечно, не с той скоростью, с какой уменьшается изображение предмета на сетчатке.

ОПЫТ 34. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ

Оборудование: рисунки для воспроизведения иллюзий

Тема «зрительные иллюзии» поистине неисчерпаема. Известны тысячи иллюзий; часть из них была разработана с той или иной целью, другая часть стала известна случайно. Конечно, вам как экспериментатору наиболее заманчиво самому придумать новые иллюзии. Есть много возможностей — изменение форм, размеров, расстояний, условий наблюдения. Вы многое сможете сделать, познакомившись с некоторыми давно известными фактами.

Фигуры-перевертыши. Если на одной и той же картине поочередно видны совершенно разные вещи, как на рис. 34.1, то картина, по-видимому, имеет какое-то отношение к иллюзиям. Почему на рис. 34.1 видна то ваза, то два профиля лица человека? Просто потому, что в обоих случаях это «хорошая» картина: и профили, и ваза суть одинаково понятные формы.

Легко переворачивается и рис. 34.2 (особенно если смотреть то под одним, то под другим углом). Придумайте другие рисунки: коробки, кубики, трубки, пирамиды, которые также будут перевертышами.

Переворачивается ли куб, показанный на рис. 34.3? Вспомните трехмерный куб-перевертыш. Начертите на белой бумаге четыре — пять кубов. Слегка заштрихуйте одну сторону какого-нибудь из них. Перевертываются они теперь? Заштрихуйте другие стороны, в том числе и внутренние. Можете ли вы сказать что-либо о причинах перевертывания фигур?

Направление линий. Кое-какие из самых распространенных иллюзий, известных на протяжении столетий, показаны на рис. 34.4 — 34.7. Фигуры состоят из прямых линий, правильных окружностей и иных правильных форм, которые кажутся искривленными или неправильными из-за того, что их пересекают линии, направленные косо по отношению к основным фигурам.

Придумайте рисунки, на которых получатся иллюзии подобного рода. Не просто копируйте наши рисунки, а изобретайте: меняйте основные фигуры и допол-

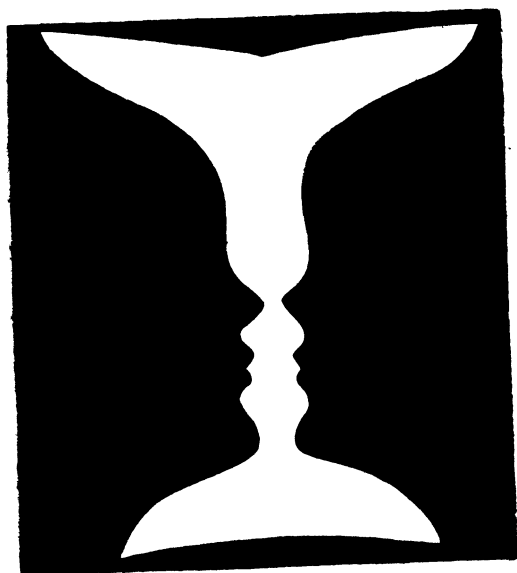


Рис. 34.1.

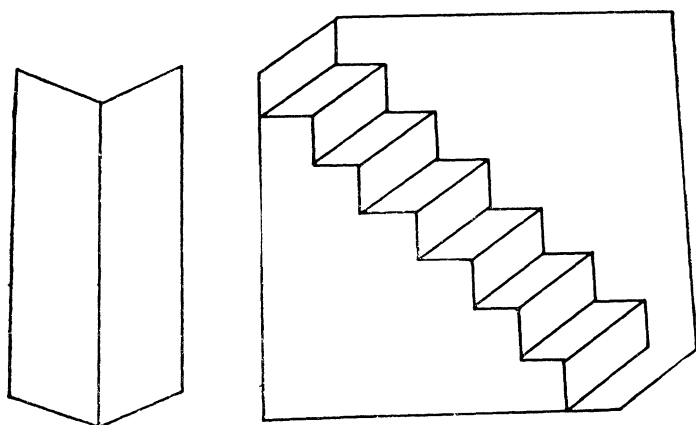
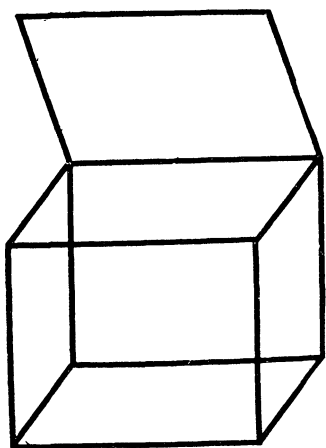
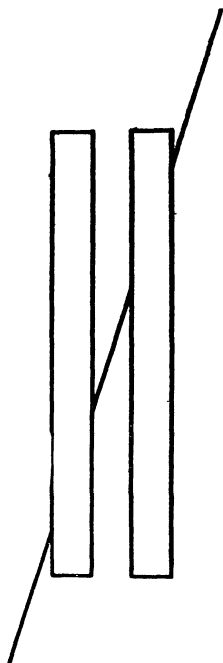


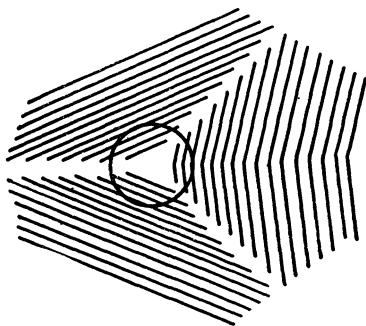
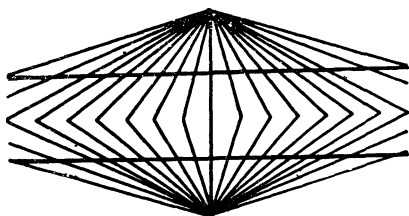
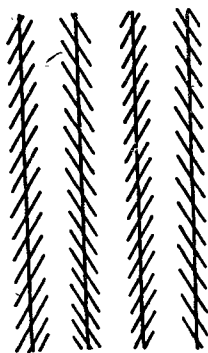
Рис. 34.2.



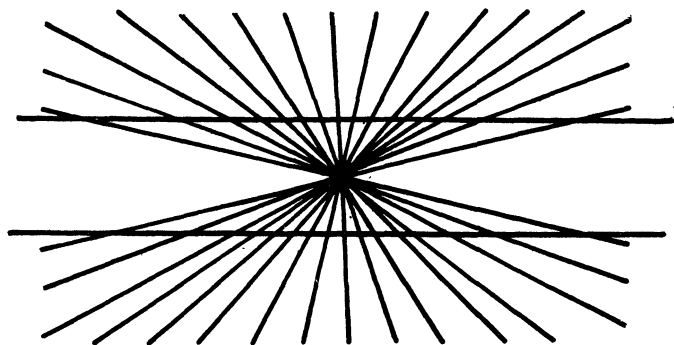
Р и с. 34. 3.



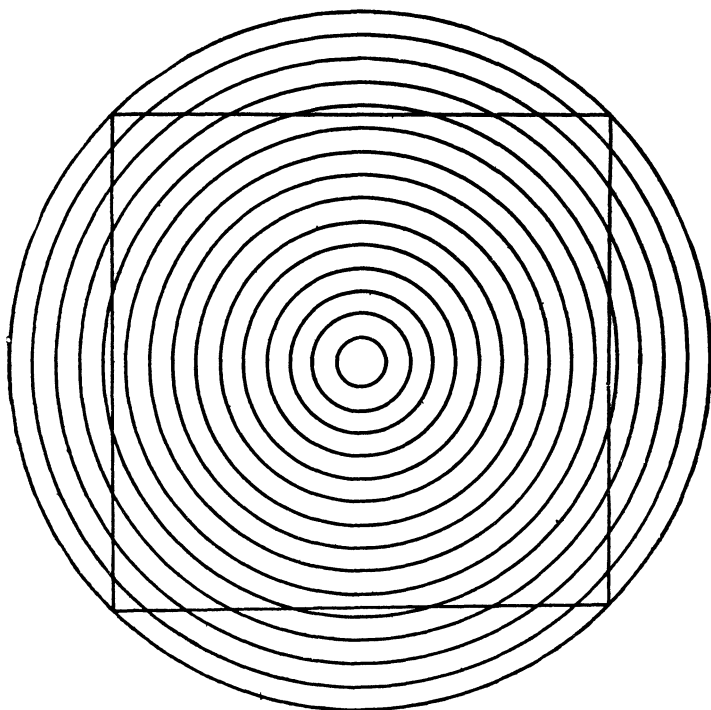
Р и с. 34. 4.



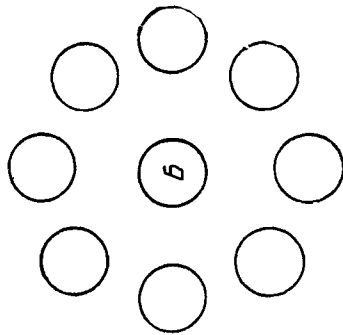
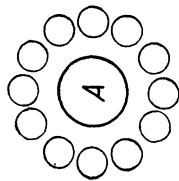
Р и с. 34. 5.



Р и с . 34. 6.



Р и с . 34. 7.



Р и с . 34.8.

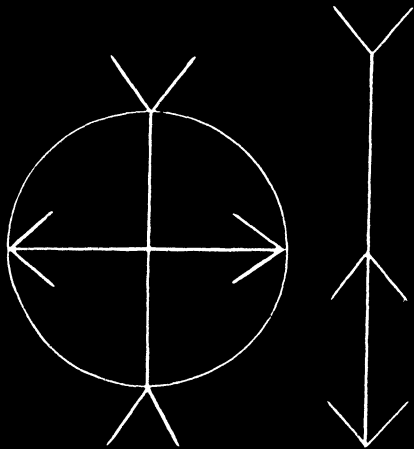
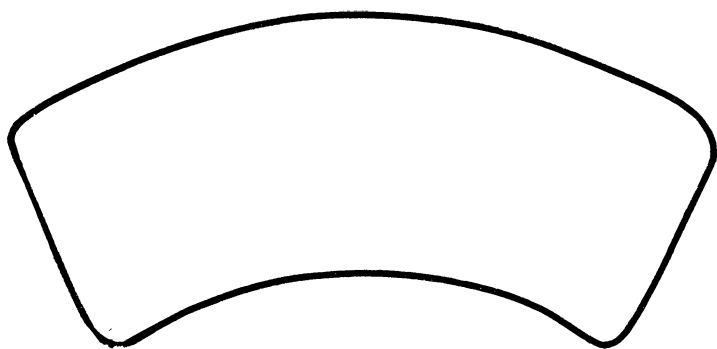
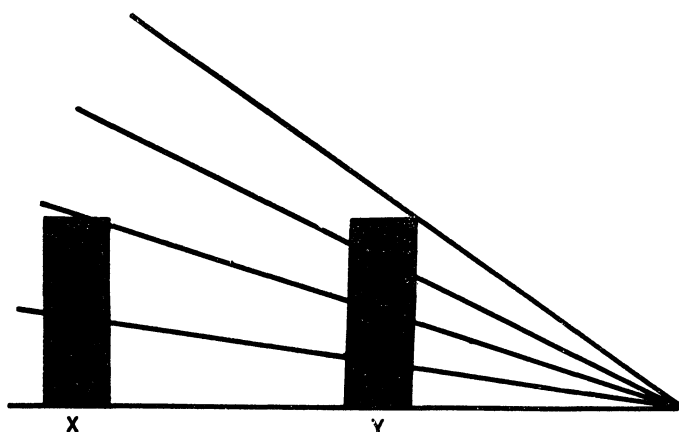


Рис. 34.9.



Р и с . 34. 10.



Р и с . 34. 11.

нительные линии (фон), меняйте углы пересечения и наклона линий. Кроме того, вы можете сделать замечательную экспозицию, используя цветные рисунки.

Размер, расстояние, длина. Рис. 34.8 — превосходный пример иллюзии размера. Вырежьте одинаковые кружки *А* и *В*. Посмотрите, как меняется видимый размер каждого из них, если окружить *А* маленькими, а *В* — большими фигурами.

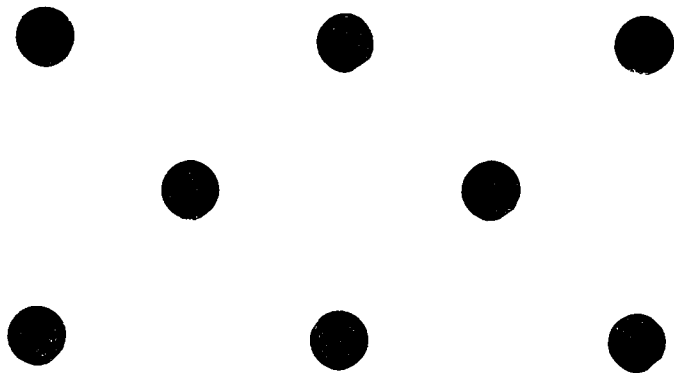
Линейкой или циркулем проверьте длину линий на рис. 34.9 на верхней и нижней фигурах.

Вырежьте из картона две фигуры, точно соответствующие по форме и величине той, что показана на рис. 34.10. Раскрасьте их в разные цвета. Положите одну под другой не вплотную, а с некоторым интервалом. Какая кажется больше? Поменяйте их местами. А сейчас какая больше?

Начертите диаграмму по рис. 34.11 размером около 30 сантиметров в длину и около 15 сантиметров в высоту. Вырежьте две одинаковые прямоугольные полоски высотой около 7 сантиметров и поместите одну из них в точке X , а другую в точке Y . Какая выше? Поменяйте их местами. Придумайте подобные иллюзии.

Знаете ли вы, что огромная луна вблизи горизонта — тоже иллюзия? На самом деле она такая же, как в те ночи, когда вы видите ее высоко в небе. Это легко доказать, сфотографировав луну в обоих случаях. Но попробуйте убедиться и без фотографии. Когда увидите «огромную» луну над горизонтом, встаньте там, где ничто не будет загораживать луну, а затем прикройте нижнюю часть поля зрения — так, чтобы совсем не видеть земли, а видеть только луну. Уменьшился ли размер луны?

Группировки. Не правда ли, приходится специально пересчитывать точки на рис. 34.12, чтобы убедиться



ДЕСЯТЬ ТОЧЕК

Рис. 34.12.

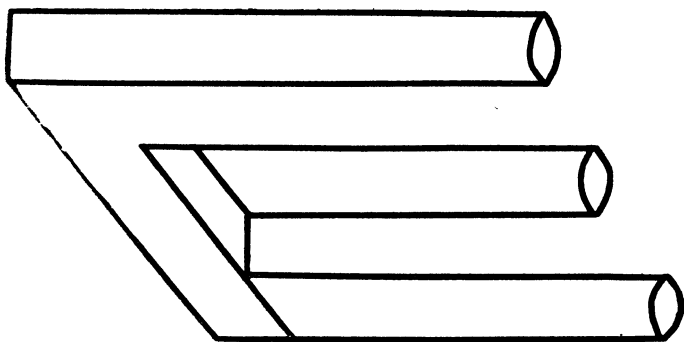


Рис. 34.13.

в том, что их там не десять, как утверждает подпись? Придумайте сами такие обманные группировки.

А фигуру на рис. 34.13 нельзя даже классифицировать. Что это — линии, группировка или еще что-нибудь? Куда идет третья «нога»? Попробуйте, может быть, вам удастся составить фигуру, которая станет столь же знаменитой, как и эта.

Экспонат для выставки

Подготовьте коллекцию иллюзий, как можно более полную. Придумайте собственные рисунки; в книгах, названия которых приводятся в конце, вы найдете несколько новых интересных мыслей. Такая экспозиция будет полезна для школьных занятий и занимательна для демонстрации широкой аудитории.

ОПЫТ 35. ЭФФЕКТЫ ДВИЖЕНИЯ

Оборудование: стопка писчей бумаги, двойной источник света (проекторы или фонари), спиральный диск

Подвигайте перед собой карандаш. Почему вы видите его движение? Очевидно, потому, что изображение карандаша передвигается по сетчатке, в то время как изображения всех остальных предметов остаются неподвижными. А теперь следите за движением каран-

даша глазами — вы все равно видите его движение; в этом случае изображение карандаша на сетчатке остается неподвижным, а изображения остальных предметов перемещаются.

Объект, на который направлено внимание, всегда кажется движущимся независимо от того, движется ли на самом деле этот объект или его фон. Связь объекта и фона настолько важна, что на ее основе часто возникают иллюзии.

Когда автомобиль, в котором вы едете, останавливается перед светофором, вам нередко кажется, что вы откатываетесь назад, хотя на самом деле вы стоите неподвижно, а вперед движется соседняя машина¹.

То, что в данном случае вы бессознательно принимаете за объект, движется, а фон остается неподвижным.

Многие эффекты видимого движения появляются, однако, и в тех случаях, когда все объекты (в том числе и составляющие фон) на самом деле неподвижны. Вы, вероятно, знаете, что в кино, где неподвижные картинки следуют друг за другом, отдельные кадры сливаются в непрерывную и потому «движущуюся» картину.

Фи-феномен. Возьмите стопку бумаги. На самой нижней странице, в правом нижнем ее углу нарисуйте «спичечного» человечка. На каждой следующей странице рисуйте такую же схему, но продвигайтесь постепенно ближе к левому углу. Быстро пропустите стопку между пальцев — так, чтобы, начиная с нижней страницы, замечать каждый очередной рисунок, пока не упадет последний, верхний лист: вам покажется, что человечек идет.

Замечательный эффект движения можно получить с помощью двух световых пятен. Возьмите два карманных фонаря и подравняйте оба световых пятна по размеру и яркости. (С двумя проекторами опыт получится еще лучше.) Щитки с круглыми отверстиями в цент-

¹ То же самое вы, наверное, много раз наблюдали через окно поезда, стоящего на станции, когда состав на соседнем пути медленно шел мимо. А иногда вы думали, что стоите неподвижно, в то время как соседний поезд стоял, а ваш плавно двигался.

ре и лист тонкой бумаги помогут вам добиться удовлетворительного качества световых пятен.

Проектируйте оба пятна на стену так, чтобы диаметр каждого был 5—7 сантиметров. Пусть пятна сначала соприкасаются; впоследствии (если вы все сделали правильно) можно раздвинуть их на 30—50 сантиметров и все же эффект получится. Если теперь вы станете быстро перемещать кусок картона перед фонарями, закрывая попеременно то один фонарь, то другой, вам покажется, что по стене туда-сюда двигается только одно пятно.

Этот эффект называется фи-феноменом. Он объясняется тем, что при достаточно быстрой смене одного изображения другим пространство между ними заполняется в воспринимаемом зрительном образе. Потому и видно непрерывное движение фигур на киноэкране.

Последствие движения. Подготовьте диск с черно-белой спиралью, как на рис. 35.1 Насадите его на ось колеса, которое вы будете вращать. Очень удобен обычный проигрыватель со скоростью вращения

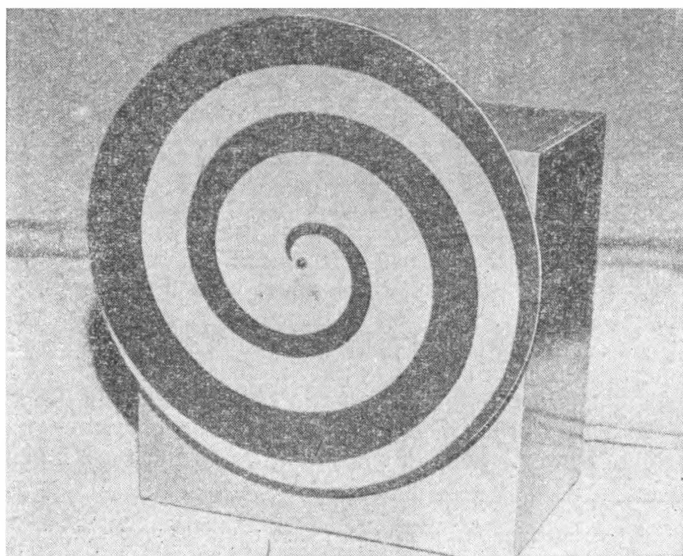


Рис. 35.1 Спираль, центр которой совпадает с осью вращения.

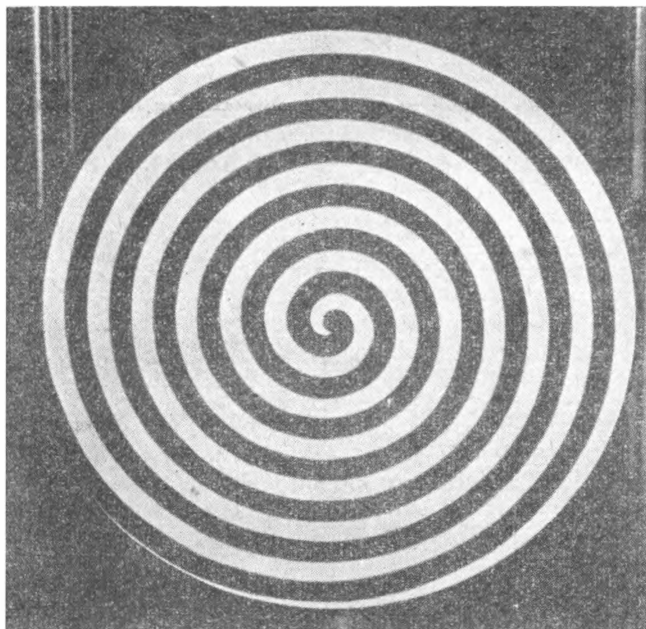


Рис. 35.2. Большая спираль — хороший способ демонстрации эффекта движения.

78 оборотов в минуту. Смотрите сверху на диск, насаженный на ось вместо пластинки. Иллюзии не будет, если скорость вращения слишком велика.

Смотрите неподвижно в центр вращающегося диска. Примерно через полминуты переведите взгляд на предмет, висющий на стене, или на лицо вашего товарища, или любой другой объект. Что происходит? Теперь перемените направление вращения диска так, чтобы казалось, будто он раскручивается изнутри наружу. Любой предмет, на который вы затем посмотрите, уменьшается в размере. Так ли? Повторите опыт, если эффект не получится с первого раза.

Такой же эффект можно увидеть, если сначала неподвижно смотреть на падающую стенку воды (например, водопад), а затем перевести взгляд на землю. Поэкспериментируйте, если представится такая возможность. Удовлетворительного научного объяснения последствия движения не существует.

Экспонат для выставки

Последствие движения — в высшей степени демонстративный феномен. Изготовив диск, показанный, например, на рис. 35.2, вы можете чрезвычайно наглядно показать аудитории этот эффект.

ОПЫТ 36. СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ ВЫЧИТАНИЕМ

Оборудование: фонарь или проектор, цветной целлофан, фильтры из стекла или пластика, акварельные краски

Естественный белый цвет содержит все цвета радужного спектра. Секторы круга, показанного на рис. 36.1, включают основные цвета, из которых комбинируется белый свет. Можно начать с белого и вычитать из него отдельные цвета, так что остающийся будет зависеть от вычитаемого.

Вычитание с помощью фильтров. Нужен такой фонарь, который дает резкий, узкий и, главное, равномерный пучок света. По-видимому, надо применить щиток с круглым отверстием в центре диаметром 6 миллиметров, а чтобы получить равномерную яркость, возможно, придется поставить перед фонарем лист тонкой бумаги или пластика. Для наших целей пригоден любой проектор: с помощью системы линз — конденсора — он дает четкое пятно света на экране. В центре плотного картона размером с диапозитив пробейте отверстие и поставьте этот картон в рамку для кадра (рис. 36.2) — вы получите как раз нужное пятно света.

В качестве вычитающих фильтров можно использовать цветной целлофан, пластик, стекло. Лучше всего — желатиновые фильтры, которые хорошо известны фотолюбителям. Они вам пригодятся и в следующем опыте. Надо подобрать фильтры для всех основных цветов спектра.

Сфокусируйте свет на белом или сером экране. Выберите фильтр, проверьте его на свет, запомните цвет фильтра. Как вы думаете, какие цвета он пропустит? Только цвет, подобный его собственному. Все остальные он вычтет из белого света. Проверьте это.

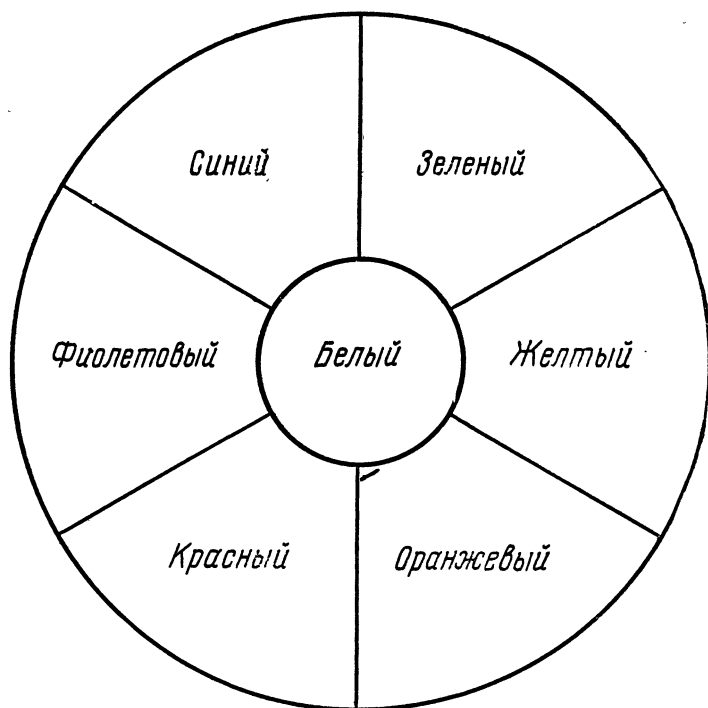


Рис. 36.1. Цвета, расположенные на круге друг против друга, являются дополнительными: будучи совмещены (при условии правильного выбора длины волны каждого цвета), они дают белый цвет. Любая пара цветов, не являющихся дополнительными, дает цвет, указанный между ними; зеленый и оранжевый в смеси дадут желтый, зеленый и фиолетовый — синий, красный и желтый — оранжевый и так далее. Смесь любых соседних цветов даст цвет, промежуточный между ними; так, синий и зеленый дадут вместе сине-зеленый. Оттенок зависит от количества каждого из смешиваемых цветов. Некоторые сочетания по три дадут белый цвет; таких сочетаний немало — их называют первичными.

Экспериментируйте с различными сочетаниями фильтров. Можно получить даже черное пятно. Что вы скажете о фильтрах, которые дают такое пятно? Почему глаз перестает видеть цвет? Дело в том, что один фильтр вычел часть цветов, а другой отнял у белого света остальные.



Р и с. 36 2. При смещении цветов вычитанием берут за основу белый цвет и затем с помощью фильтров отнимают у него определенные цвета.

Мы, конечно, все очень упростили. Многие фильтры вычитают по несколько цветов; другие вычитают цвета противоположных краев спектра. Но в основном каждый фильтр отнимает у света все цвета, кроме своего собственного.

Вычитание красками. Возьмите шесть карт-эталон: красную, синюю, желтую, зеленую, белую и черную. На листе белой бумаги ставьте маленькие цветные пятнышки акварельными красками (соответствующими цветным эталонам): один цвет, поверх него другой, потом третий и так далее. Пробуйте разные комбинации красок и наносите их в разной последовательности. Попробуйте все сочетания основных красок и различных порядок их наложения.

Попробуйте правильно предсказать цвет, который получится от смешения вначале двух, затем трех и четырех красок. Дело в том, что, когда вы наносите первую краску, из белого света, отражаемого бумагой, вычитаются определенные, составляющие его цвета, затем отнимаются другие цвета и так далее. Вычитание цветов происходит из-за того, что вещество краски —

ее пигмент — взаимодействует со светом. Отраженный от краски свет сильно отличается от падающего на нее света.

Замечайте, что происходит, когда вы смешиваете три цвета. Можете вы получить черный цвет смешением красок? Какие оттенки возникают помимо тех, что были в основных красках? Что происходит, если к смешанным краскам добавить белую или черную? А почему при этом темнеет или светлеет пятно?

Экспонат для выставки

Для показа смешения цветов вычитанием можно использовать окрашенную воду. В несколько пробирок или бутылок налейте воду, окрашенную в один из основных цветов. Смешивая воду из разных бутылок в различных пропорциях, вы получите такие же эффекты, как с красками или фильтрами. Проектор с фильтрами — также прекрасный экспонат.

ОПЫТ 37. СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

СЛОЖЕНИЕМ

Оборудование: три источника света (фонари, проекторы) или светосмесительный ящик, набор цветных фильтров, вращающийся диск для смешения цветов

Ощущение цвета зависит от длины волны света, попадающего в глаз и воспринимаемого зрением. В предыдущем опыте мы начали с белого света и отнимали свет определенной длины волны. Ощущение цвета зависело от длины волны света, оставшегося после вычитания.

Смешение цветов сложением, наверное, еще более увлекательно, чем смешение вычитанием. В глаз одновременно посылаются лучи, состоящие из световых волн разной длины. В результате возникает ощущение, свойственное как бы сумме действующих в отдельности излучений.

Постоянные источники света. Чтобы получить все описываемые ниже эффекты, три источника света расположите так, чтобы можно было, во-первых, менять

цвет светового потока каждого источника в отдельности и, во-вторых, совместить все три световых пятна в одном месте экрана.

Вы можете воспользоваться карманными фонарями. Однако хорошее тройное пятно получится только в том случае, если каждое из совмещаемых пятен будет резким и все три пятна будут одинаково яркими. Но лучше всего использовать три проектора — вы наверняка добьетесь успеха.

Установите три источника света таким образом, чтобы проецируемые ими пятна света накладывались друг на друга, как показано на рис. 37.1. Перед одним проектором установите красный фильтр, перед другим — зеленый, перед третьим — синий.

Найдите три «первичных» цвета, то есть основные тона названных цветов. Хорошо иметь набор разных цветных фильтров: фиолетовый, пурпурный, оранжевый, голубой и так далее.

Экспериментируйте с самыми разнообразными сочетаниями цветов. Фильтры прикладывайте прямо к стеклу объектива проектора. Возможно, потребуется

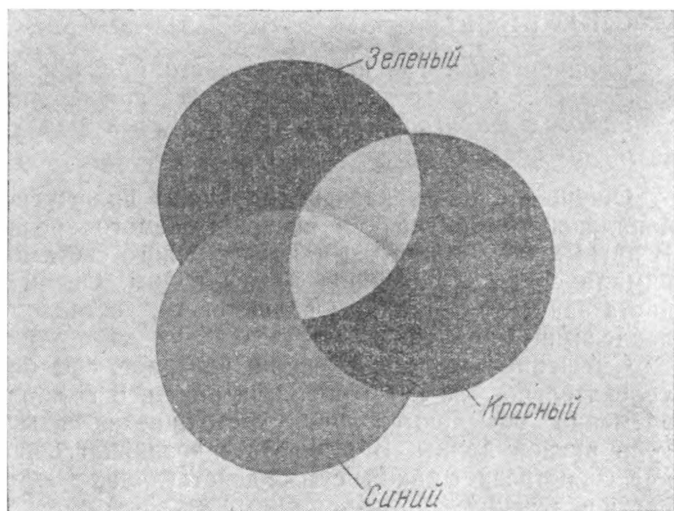


Рис. 37.1. Аддитивное смешение путем частичного совмещения трех цветных пятен.

изменить яркость одного или двух источников, чтобы получить наилучший эффект. Чтобы снизить яркость, вместе с фильтром приложите к объективу тонкий лист бумаги или матовое стекло. Еще лучше управлять яркостью с помощью реостата. Испробуйте различные способы выравнивания яркости и четкости световых пятен.

Найдите два дополнительных цвета: при проекции в одно место они дадут белый цвет (если яркость подобрана верно). Если у вас фильтры целлофановые или пластиковые, чтобы получить достаточную интенсивность цвета, придется собрать многослойный фильтр. Подбирайте пары, пока не получите настоящее белое пятно. Потом меняйте интенсивность цветowych фильтров, составляющих пару, — вы получите разные оттенки.

Переменные источники света. Смеси цветов можно получить, вращая диски, части которых окрашены в разный цвет. Благодаря инерции зрения эффект будет такой же, как если бы разные цвета проецировались в одно и то же место. Это прекрасный экспонат для занятий в классе и для выставки.

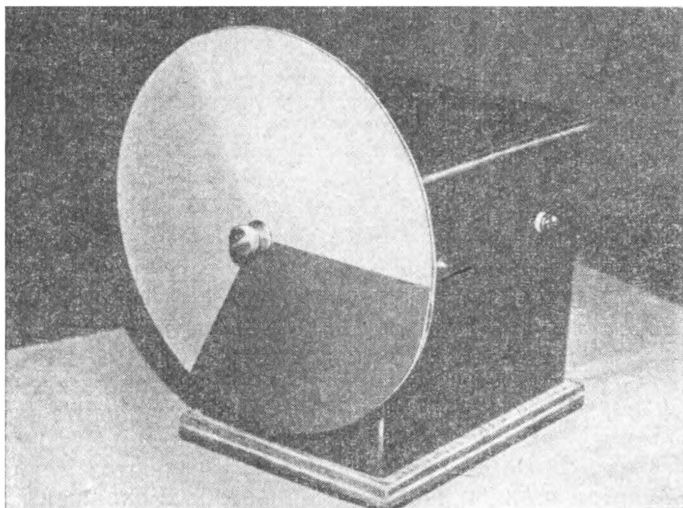
Наилучший аппарат для смешения цветов показан на рис. 37.2. Диск посажен на ось мотора, скорость вращения которого регулируется реостатом. Годится любой мотор. Еще лучше, если мотор реверсивный, то есть направление вращения можно изменить на обратное.

Но диск будет хорошо вращаться и от ручки, если попросту насадить его на свободную ось с рукояткой.

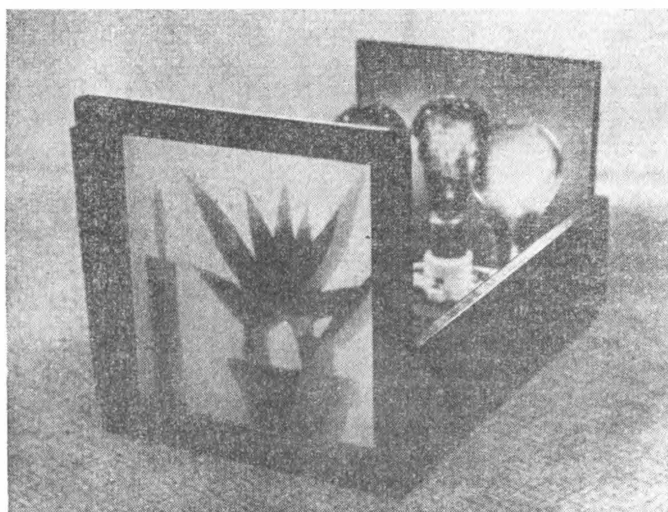
Попробуйте любые сочетания цветов и фигур, нанося их красками или наклеивая на диск цветную бумагу.

Очень важно освещение диска. Попробуйте разные источники света: настольные и верхние лампы, лампы дневного света и флуоресцирующие светильники, естественный свет. Ваш «белый цвет» будет, конечно, не настоящим белым, а светло-серым, то есть белым малой интенсивности.

Число комбинаций в этих опытах неисчислимо. Разные цвета, разные формы, секторы различной ширины позволят получить множество оттенков и фигур. Используйте все дополнительные цвета, которые сможе-



Р и с. 37. 2. Аппарат для аддитивного смешения путем вращения трехцветного диска (мотор с реостатом).



Р и с. 37. 3. Сгруппированные у задней стенки ящика красная, зеленая и синяя лампы дают на передней матовой стенке трехцветные тени предметов, помещенных позади передней стенки.

те найти. Сколько, по-вашему, первичных сочетаний цветов? Сколько пар дополнительных цветов?

Экспонат для выставки

Смешивание цветов сложением как будто специально создано для показа. Вращающиеся цветные диски и проектируемые цвета очень легко приспособить для выставки. Постройте цветовой ящик, передняя полупрозрачная стенка которого освещена сзади источниками света с разными фильтрами так, что на ней видны цветные тени предметов (рис. 37.3). На подобном устройстве также можно продемонстрировать явление одновременного цветового контраста (опыт 20).

ОПЫТ 38. ИЛЛЮЗОРНЫЙ ЦВЕТ

Оборудование: специальные черно-белые фигуры

Явления одновременного цветового контраста — как бы вы их ни получили — являются чисто субъективными. Сфотографировать их невозможно. В опыте 20 речь идет, в сущности, об эффектах восприятия цвета. Каким-то пока еще непонятным образом электрохимический процесс в зрительной системе сопровождается субъективным «наведением» цвета, отсутствующего в объекте наблюдения.

Есть еще один уникальный феномен субъективного восприятия цвета — цвет возникает при действии черно-белого раздражителя. Этот феномен был открыт более чем полтора столетия назад, но удовлетворительного объяснения он все еще не имеет.

Изготовьте черно-белые диски по образцам, показанным на рис. 38. 1. Каждый диск насаживается на ось вращения (соединенную с мотором или просто с рукояткой). Диск наблюдают с расстояния 1,5—2 метров; скорость вращения подбирают опытным путем — до получения цветового эффекта.

Цвет зависит от рисунка на диске. Некоторые рисунки более эффективны, другие — менее. Придумайте узоры сами. Найдите оптимальную скорость вращения, при которой цвета видны лучше всего. Что происходит, когда вы меняете направление вращения на противоположное?

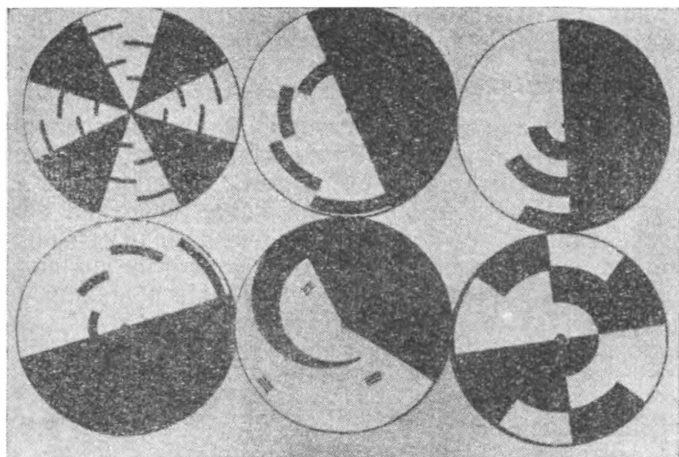


Рис. 38.1. Типы дисков для получения субъективных цветовых эффектов.

Эффект настолько поразителен, что вам захочется остановить диск и убедиться в том, что он на самом деле черно-белый, а цвет, который вы видите, — иллюзия.

Экспонат для выставки

Демонстрация этого феномена — очень эффектное зрелище. Оборудование — то же, что и в опыте 37.

ОПЫТ 39. «ОПАРТ»¹

Оборудование: иллюстрации, приведенные к этому опыту

О произведениях, относящихся к «опарту», говорят, что они «бросаются в глаза». На полотне изображаются такие узоры, такие сочетания формы и цвета, которые способны вызвать оптический эффект. В некотором смысле «оптическое искусство» создает зрительные иллюзии. Изображения кажутся непохожими ни на один реальный предмет, привычный узор, знакомую

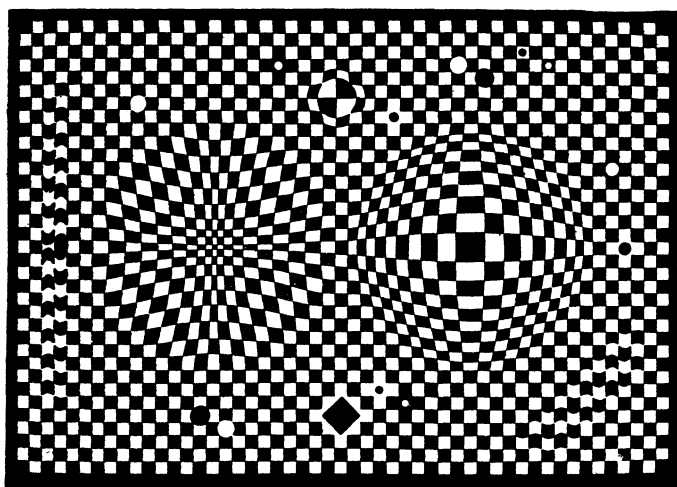
¹ Op art (optical art) — *англ.* — оптическое искусство.

структуру. К опарту относится любая картина, не различная для зрения, независимо от ее смысла.

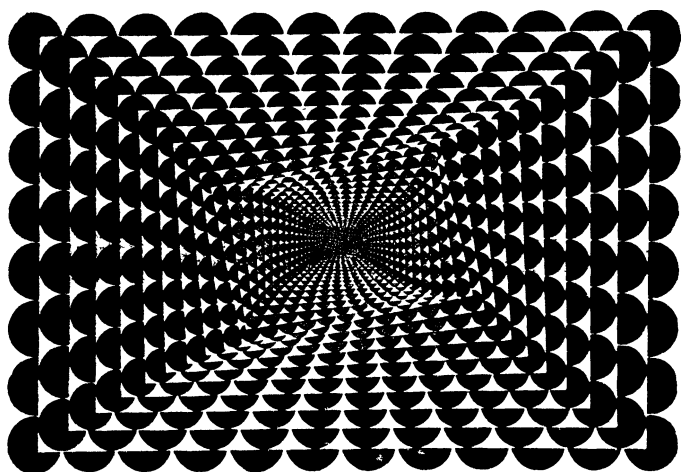
Подобные произведения иногда вызывают эмоциональную реакцию, чувство хаоса или, напротив, упорядоченности. Они могут казаться движущимися, могут «наводить» цвет. Приложимо ли к этому виду искусства название «оптическое» — вопрос нерешенный¹. Оно определенно воздействует на зрение. Оно даже может вызвать и эмоциональную реакцию в связи с тем, что мозг всегда пытается вложить смысл в то, что видят глаза.

Почти любой узор, составленный из квадратов, кругов, точек, любых форм и линий, будет ли он черно-белым или цветным, относится к опарту. Такой узор особенно эффектен, когда имеется какое-либо искажение перспектив, а тонкие малозаметные детали усиливают впечатление. Но и правильный (упорядоченный) рисунок — тоже опарт. Например, рис. 18.2 относится к опарту: выполненный в цвете, он производит сильнейшее впечатление движения.

¹ Гораздо более спорным нам представляется вопрос о том, приложимо ли вообще к произведениям такого рода название «произведение искусства». Прежде всего, впечатление, которое они производят на зрителя, зависит не от смыслового содержания (его, кстати, автор, как правило, не вкладывает в узор), а от того, как воздействует на зрение сама структура узора — сочетание и распределение контуров, яркостей, пятен, цвета. Структура узора — единственное содержание подобной «картины». Смысловых образов она не содержит, и в зависимости от того, какие эмоции вызывает она у данного зрителя, он волен назвать ее как ему нравится. Тот факт, что такая «картина» может вызвать эмоциональную реакцию, говорит в пользу возможности применения термина «искусство». Но дело в том, что хорошо выраженный оптический эффект может быть надежно рассчитан заранее, — и соответствующий узор может быть выполнен с помощью набора лекал или даже механическим рисующим устройством. Воздействие опарта на зрителя зависит от ассоциаций, возникающих автоматически при рассматривании картины; благодаря свойствам человеческой психики эти бессознательные ассоциации либо обрастают тем или иным смыслом и тогда картине дается название, либо разряжаются чисто эмоционально (от «ах!» до «тьфу»). С научной точки зрения такие «картины» и их воздействие на зрителя интересны, так как здесь смыкаются области психологии, физиологической оптики и искусствоведения. Что касается эстетической стороны дела, то картина, которую рисуют шестерни, не представляется нам интересной.



Р и с. 39. 1. Васарели «Метагалактика».



Р и с. 39. 2. Джеффри Стил «Фред Мэддокс — Эксперимент в барокко».

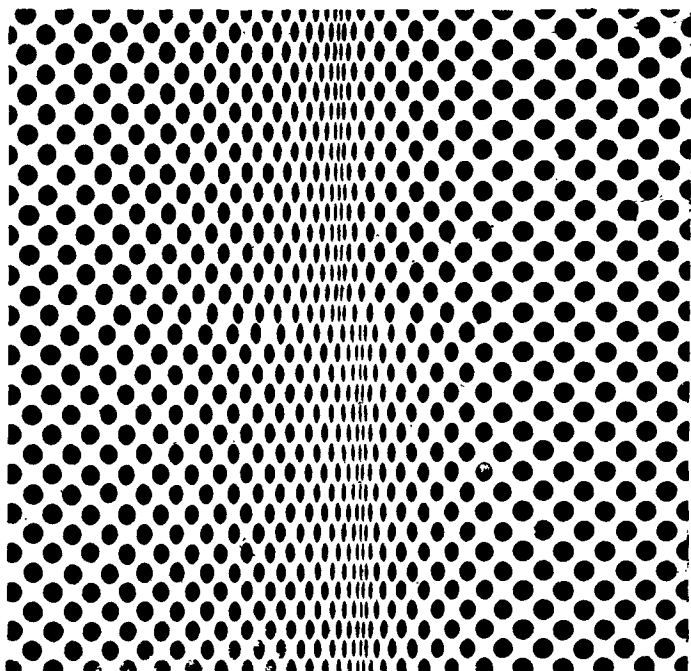


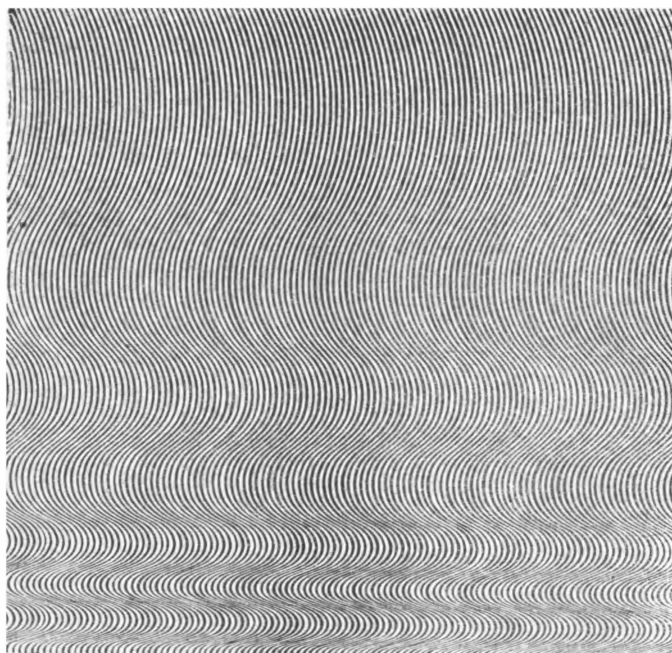
Рис. 39. 3. Бриджет Райли «Расщепление».

Узоры на рис. 39. 1—39. 4 выполнены известными художниками. Определенные узоры, выполненные в определенном стиле, вызывают вполне определенные ощущения и эмоции¹.

Изготовить такие «картины» может каждый. Как вы, несомненно, понимаете, художником для этого быть не обязательно. Просмотрите иллюстрации к этому разделу. Имеются четыре способа изготовления таких узоров.

От руки. Посмотрите на рис. 39. 5. Узоры подобного рода изготавливаются с помощью чертежных инструментов, проволоки, ленты. Зрительный эффект будет получен при любом периодически повторяющемся геометрическом узоре — требуется лишь создать некото-

¹ Вряд ли можно утверждать это. Эмоции — несомненно, но весьма различные у разных людей, а отнюдь не «определенные».

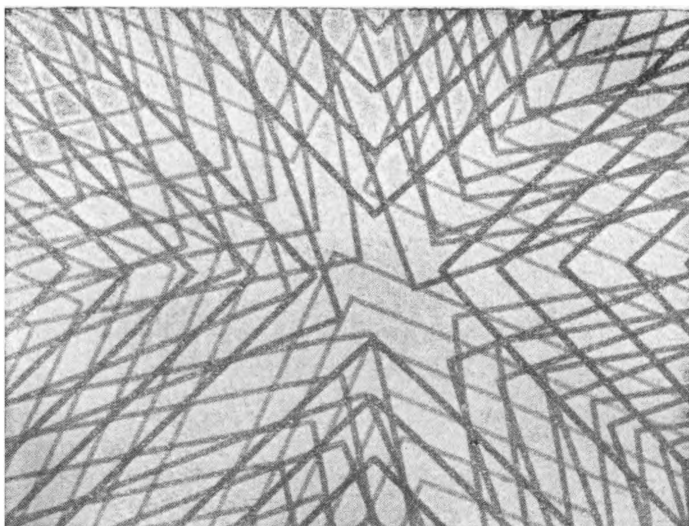


Р и с. 39. 4. Бриджет Райли «Падение».

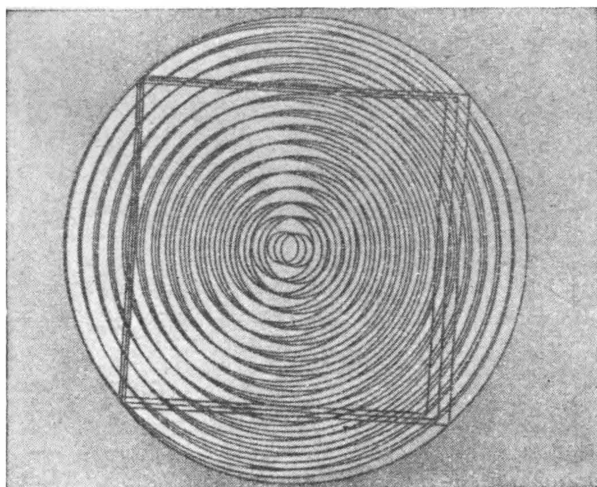
рую неупорядоченность, которая бросится в глаза.

Фотографический способ. Рис. 39. 6 был получен путем фотографирования узора, показанного на рис. 34. 7. Негатив экспонировался на один и тот же лист фотобумаги трижды; при каждой последующей экспозиции слегка уменьшали размер изображения и смещали его центр. Фигуру, показанную на рис. 18. 2, сфотографировали и экспонировали дважды, чтобы получить рис. 39. 7. Можно поместить в увеличитель два негатива сразу; так был получен рис. 39.8; один негатив содержал изображение узора из колец, другой — ряды диагональных линий. Если узоры сняты на негативную фотопленку, вы можете получить бесконечно разнообразные варианты этих узоров.

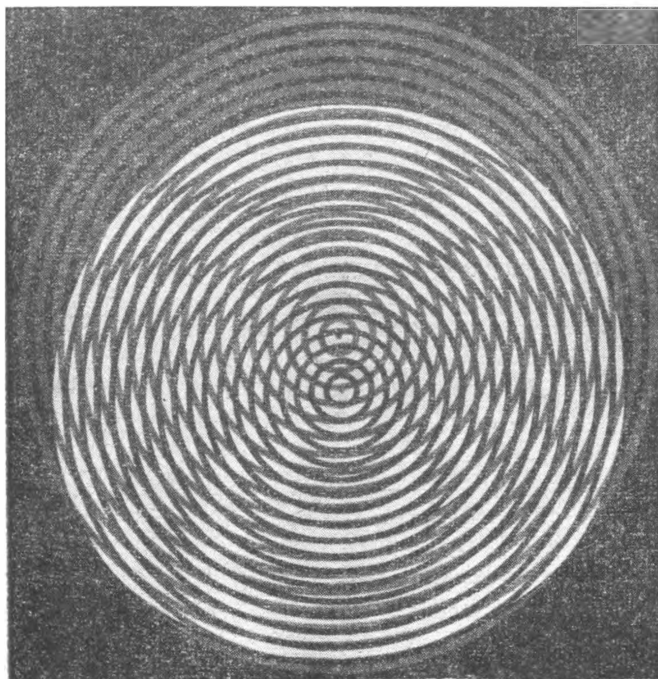
Механические устройства. Удивительно разнообразные узоры могут быть созданы с помощью уст-



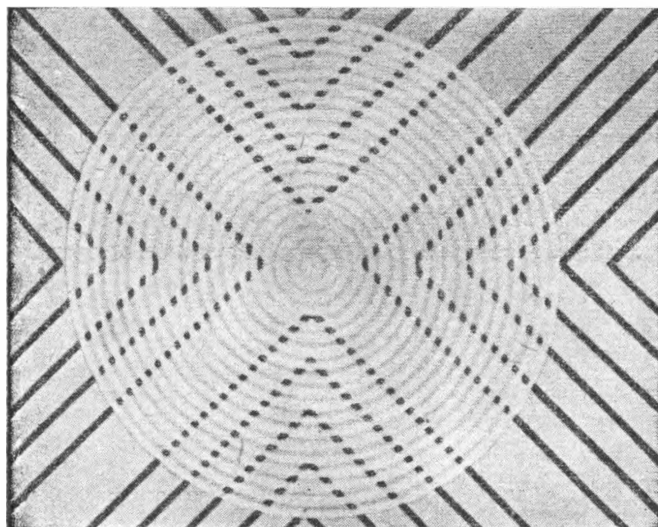
Р и с. 39. 5. Рисунок, выполненный от руки.



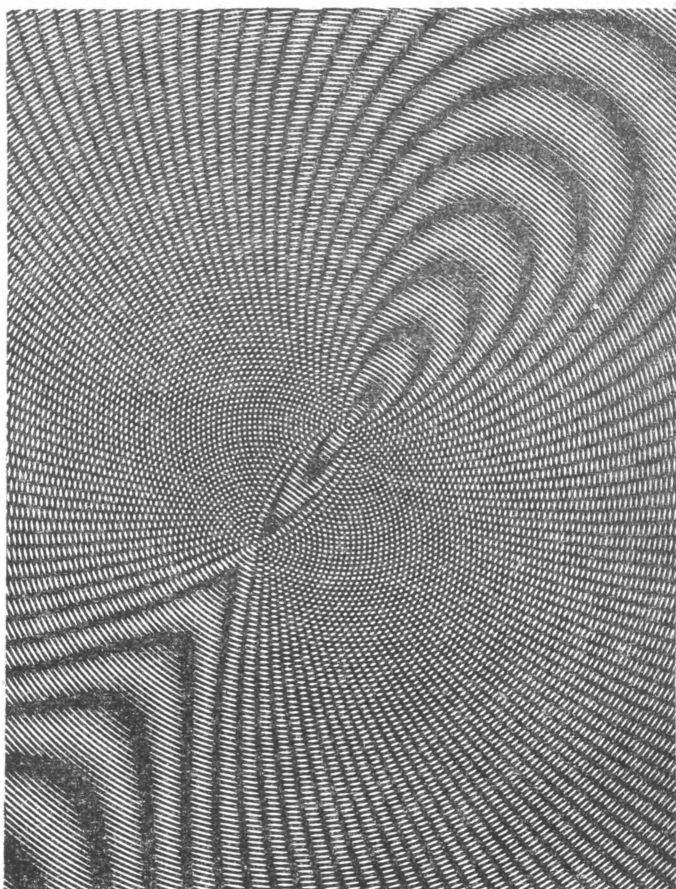
Р и с. 39. 6. Узор, полученный фотографическим способом.



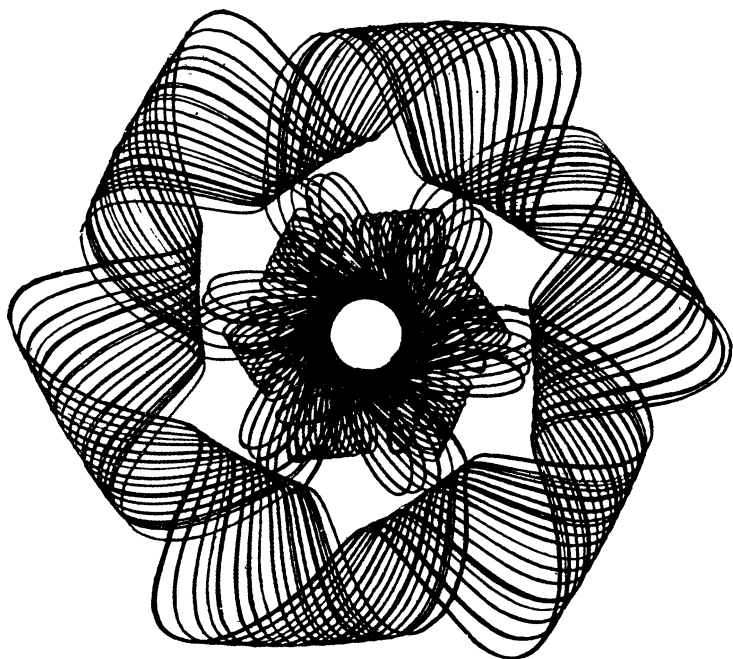
Р и с . 39.7. Узор, полученный фотографическим способом.



Р и с . 39.8. Узор, полученный фотографическим способом.



Р и с. 39. 9. Узор, выполненный механическим рисующим устройством.



Р и с . 39. 10. Рисунок, выполненный с помощью специального набора для изготовления иллюстраций.

ройств, специально предназначенных для такой цели. Пример возможного узора — рис. 39. 9, выполненный на приборе, названном чудо-дизайнером (The Magic Designer).

Узоры Муаре — рис. 39. 10.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

ПОДОПЛЕКА ОЧЕВИДНОГО

ОЧЕВИДНОЕ — ПРАВДА, ЛОЖЬ ИЛИ НЕЧТО ТРЕТЬЕ?

Человек должен считать достоверной большую часть своих сведений о внешнем мире и о себе самом — иначе не мог бы жить.

Эмиль Борель

Уверенность в непогрешимости знания, получаемого о внешнем мире с помощью зрения, так органично свойственна человеку, что в языке (и не только русском) слова «видеть» и «понимать» практически взаимозаменяемы. Желая сказать: «Совершенно ясно», человек говорит: «Очевидно»; даже строгие математики применяют оба выражения как равноправные. Такое сближение понятий не могло произойти случайно. Случайные значения слов долго не живут, а эти с незапамятных времен прочно вошли в разные языки. Язык — вещь гибкая и строгая в одно и то же время. Фразу, выражающую определенную мысль, можно составить из разных слов, но каждое поставленное на свое место слово все жестче ограничивает выбор следующих слов. И все же из вполне законченной фразы, строго выражающей мысль, нередко без ущерба для смысла можно вынуть любое слово и заменить его равнозначным.

Если бы все языковые формы от слова «видеть» были тождественны понятию «хорошо, ясно понимать», мы могли бы решить, что в сознании человека зрение всегда непогрешимо. Но это, безусловно, не так — в языке есть и совсем иные оттенки слова «видеть». Когда собеседнику кажется, что вы правы, но полной

уверенности у него нет, он скажет: «По-видимому, так». А если некто, не делая по существу ничего, умудряется изобразить кипучую деятельность, то его занятие определяют, махнув рукой: «Одна видимость».

Что же такое зрение — поставщик истины (очевидно), лжи (одна видимость) или чего-то третьего, не ложного, но и не достоверного (по-видимому, так)? Любопытно подсчитать относительную частоту употребления слова «видеть» в каждом из трех значений, но этот способ, без сомнения, не даст ответа на интересующие нас вопросы: что воспринимает человек с помощью зрения и как работает зрение человека?

В том, что именно это интересует читателя, сомнений нет: в противном случае читатель не взялся бы за книгу «Опыты со зрением». В процессе работы над опытами, вероятно, многое осталось невыясненным до конца, но у меня нет и не может быть полного списка читательских сомнений, а ответить на все вероятные вопросы невозможно: будь в книге (или в этом послесловии) не десятки, не сотни, а тысячи страниц, исчерпать тему все равно не удалось бы — просто потому, что она неисчерпаема.

Мой краткий дилетантский экскурс в языкознание преследовал одну цель — избавить читателя от автоматизма при оценке наблюдений, предостеречь от привычного употребления слова «очевидно» для подкрепления выводов. Очевидное — это наблюдаемые нами факты восприятия. Механика очевидного и смысловая связь фактов — предметы нашего исследования. Именно этими предметами вы занимались, работая с книгой.

ГЛАЗ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ (ИЛИ ЛУЧЕВАЯ) ОПТИКА

Во всех случаях, когда нас интересует изображение внешних предметов в глазу человека — на сетчатке, мы пользуемся методами лучевой — геометрической — оптики, ее законами (главным образом законами отражения и преломления света). Живые линзы глаза — роговица и хрусталик — преломляют и отражают свет аналогично стеклянным линзам той же плотности, прозрачности, кривизны, толщины. Сетчатка пока рассматривается лишь как экран, на который проектируется изображение. Экран этот неподвижен: дли-

на оси глаза — расстояние между центром роговицы и центром сетчатки — величина постоянная. Четкое изображение получается на сетчатке только в том случае, когда фокусное расстояние оптики глаза точно равно длине его оси. При этом должны соблюдаться два условия. Во-первых, предмет находится в «оптической бесконечности» (практически на расстоянии более 5 метров), то есть можно принять, что отраженные от него лучи входят в глаз параллельным пучком. Во-вторых, мышца хрусталика (цилиарная) расслаблена — выпуклость хрусталика (точнее, кривизна его поверхностей) минимальна. Если при соблюдении обоих условий фокусное расстояние оптики глаза точно равно длине его оси, говорят: *рефракция глаза нормальная*, глаз *эмметропический*. Если фокусное расстояние больше длины оси, рефракция глаза *гиперметропическая*, глаз *дальнозоркий*. Если фокусное расстояние меньше длины оси, то есть оптика глаза слишком сильно преломляет свет, рефракция глаза *миопическая*, глаз *близорукий*. Чем значительнее расхождение между фокусным расстоянием и длиной оси глаза, тем больше дальнозоркость или близорукость. Изменим первое условие — приблизим наблюдаемый предмет; отраженные от него лучи станут расходящимися. Чтобы собрать эти лучи в фокус на сетчатке, необходимо увеличить преломляющую силу оптики глаза, усилить его рефракцию. Для миопического глаза приближение предмета выгодно — его оптика слишком сильна по отношению к параллельным лучам света, — но лишь до поры. Например, в глазу с миопией в 3 диоптрии фокус (для параллельных лучей) лежит примерно в миллиметре перед сетчаткой. Если приблизить предмет на расстояние до 0,33 метра, фокус (постепенно отодвигающийся по мере приближения предмета) окажется точно на сетчатке. Но если расстояние до предмета сократится еще больше, изображение снова станет нечетким: теперь рефракция глаза оказывается недостаточно сильной. Временное усиление рефракции, необходимое для получения четких изображений близких предметов на сетчатке, достигается при помощи accommodationного рефлекса — автоматического напряжения или расслабления мышцы хрусталика в зависимости от того, приближается предмет или удаляется.

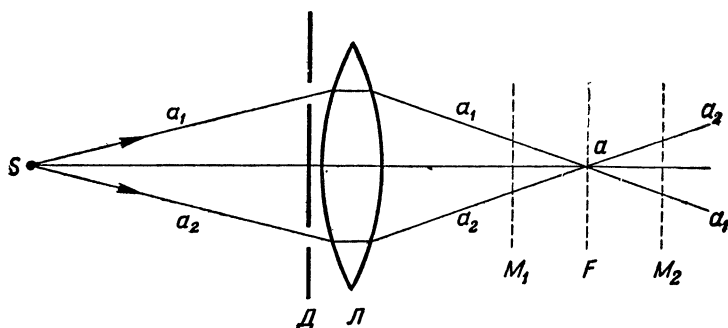


Рис. П. 1. Схема, поясняющая опыт Шейнера (вспомните опыт 4). S — источник света. Линза L отгорожена от S диафрагмой D с двумя отверстиями. Когда экран находится в положении F , то есть как раз в фокальной плоскости, в точке a будет одно изображение объекта. Если расстояние до экрана меньше, чем фокусное расстояние линзы — положение M_1 , получается два изображения (неперекрещенные). Два изображения получатся и в том случае, когда расстояние до экрана больше фокусного — положение M_2 , но они будут перекрещенными. Схема вполне справедлива и для случая, когда S — горизонтальная линия, L — оптическая система глаза, а экраном служит сетчатка. При дальнозоркости точка F лежит позади сетчатки, при близорукости — впереди, при эмметропии — совпадает с сетчаткой.

Аккомодируя, эмметропический и гиперметропический глаза формируют четкие изображения и от далеких и от близких предметов; лишь для миопического глаза зона далекое — близкое сжата (но зато при равных возможностях аккомодации не только дальняя, но и ближняя граница зоны четких изображений при близорукости будет гораздо ближе к глазу, чем в случае дальнозоркости и даже эмметропии).

Эмметропия, гиперметропия и миопия — три вида *сферической рефракции* глаза. Заменив роговицу и хрусталик равной по силе (эквивалентной) линзой, мы обнаружим, что ее поверхности имеют одинаковые радиусы кривизны по всем направлениям, например в вертикальном и горизонтальном направлениях. Четвертый тип рефракции глаза — *астигматизм* — отличается тем, что взаимно перпендикулярные направления эквивалентной линзы имеют разные радиусы кривизны. При сферической рефракции, подобрав соответ-

ствующее расстояние до точечного предмета, теоретически можно получить в фокусе точку (по-гречески «стигму»). При астигматизме точечного фокуса просто нет. Астигматизм может сопутствовать любой сферической рефракции глаза. Миопия, гиперметропия и астигматизм исправляются (корректируются, а не излечиваются, как часто ошибочно полагают) очками.

Подобно любой оптической системе, глаз не лишен оптических погрешностей, — даже при эметропии. Разберемся в их происхождении. Любую линзу схематически можно представить как две призмы. Схема собирательной линзы (то есть лупы, например роговицы глаза) — две призмы, сложенные основаниями. Если линза рассеивающая, ее схема — две призмы, сложенные вершинами («песочные часы»). В призме, как вы знаете, излучения, входящие в состав белого света, отклоняются по-разному: красный — меньше, синий — больше всех других. Поэтому любая линза сильнее преломляет синие лучи. Для красных лучей фокусное расстояние больше, чем для любых других. Нормальный глаз как бы близорук для синих лучей, дальнорук для красных, эметропичен для желто-зеленых. Поэтому точечный источник белого света никогда не даст на сетчатке идеального точечного изображения. Таково содержание понятия *хроматическая аберрация*. Существует еще одна погрешность. У вершины призмы луч отклоняется гораздо больше, чем вблизи от основания призмы. Поэтому края роговицы (и любой собирательной линзы) преломляют свет сильнее, чем ее центральная зона. И это тоже мешает получить точечное изображение на сетчатке — точка превращается в кружок. Такова суть *сферической аберрации*.

Читатель, конечно, заметил противоречие: говоря о рефракции глаза, мы утверждали, что на сетчатке получается четкое изображение, а рассматривая аберрации, доказываем, что этого быть не может. В отношении сферической аберрации найдено достаточно полное объяснение тому, что четкое изображение есть, хотя его «быть не может». Во-первых, зрачок, пропускающий только ту часть лучей, которая прошла через центральную зону роговицы (остальные поглощаются непрозрачной радужкой), уменьшает сферическую

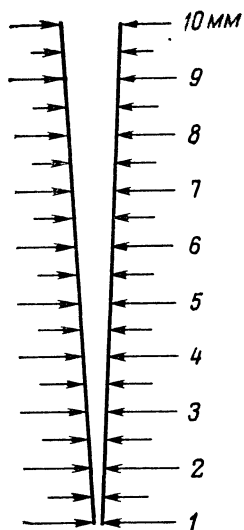


Рис. П. 2. Линейка для измерения диаметра зрачка (вспомните опыт 6). Скопируйте чертеж, перенесите его на пленку или пластинку, по возможности наиболее прозрачную. Измеряя поперечник зрачка, держите линейку как можно ближе к наблюдаемому глазу. Ваш партнер в это время должен смотреть другим глазом вдаль, так как при взгляде на близкий предмет зрачок суживается независимо от освещенности.

диафрагмы сопровождается не только отрицательным (ослабление освещенности изображения), но и положительным эффектом: резкие изображения получают- ся и от близких и от далеких предметов. То же происходит при сужении зрачка. Когда глаз аккомодирует к предмету, удаленному на 2—2,5 метра, он в то же время фокусируется и к более удаленным предметам (до оптической бесконечности). На меньших расстояниях глубина фокуса, естественно, меньше. При рас-

аберрацию. Во-вторых, сравнительно недавно Стайлс и Кроуфорд доказали, что сетчатка не безразлична к направлению падающего на нее света: лучи, перпендикулярные сетчатке, более эффективны, чем наклонные. Но здесь мы уже забегаем вперед, так как чувствительность сетчатки не определяется законами геометрической оптики. Каким образом компенсируется в глазу хроматическая aberrация его оптической системы, пока неизвестно. Очень вероятно, что открытие Стайлса—Кроуфорда поможет разъяснить и эту загадку. Во всяком случае, когда фокусное расстояние оптической системы глаза равно длине его оси (как говорят, предмет и его изображение на сетчатке находятся в сопряженных фокусах оптической системы глаза), изображение четкое. Впрочем, даже при неизменном напряжении аккомодации изображения предметов, удаленных не одинаково, остаются четкими; этот эффект называется глубиной фокуса. Тот, кто занимается фотографией, знает, что уменьшение

стоянии 40 сантиметров глубина фокуса измеряется уже не метрами, а миллиметрами, но она все-таки существует. Поэтому в процессе зрения роль оптических погрешностей глаза практически ничтожна.

До сих пор речь шла о точечных изображениях. Но изображения всех реальных предметов (не слишком удаленных), как и сами предметы, имеют некоторую протяженность, определенную форму и, кроме того, по-разному расположены на сетчатке в соответствии с расположением предметов в поле зрения.

Как и другие собирательные линзы, роговица и хрусталик формируют перевернутое изображение¹.

Все лучевые построения обратимы. Проследивая движение света от источника в воздухе, затем в линзе (или в глазу), в другой линзе, снова в воздухе и так далее до любой точки, мы пройдем совершенно такой же путь, как и в том случае, если начнем от конечной точки и будем двигаться к линзам, а затем сквозь линзы к источнику.

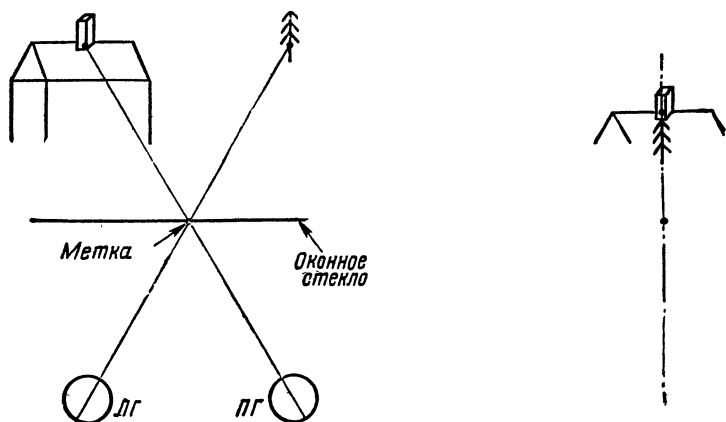
Представим себе лучи, выходящие из глаза (кстати, Эвклид так и строил свою геометрию). Луч, начавшийся в каждом светочувствительном элементе сетчатки, преломится линзами глаза и пойдет дальше прямолинейно в своем особом направлении. По числу волокон зрительного нерва таких «лучей» будет примерно миллион. Их совокупность составит как бы ко-

¹ В связи с этим часто высказывается предположение о том, что каждый человек в детстве обучается «выпрямлять» образы предметов, а если мол не дать ребенку ощупывать предметы руками, то он так и будет видеть все «вверх-тормашками». Это предположение лишено оснований, а объяснения типа «рассудок выпрямляет изображение» попросту бессодержательны. Свет движется по лучу: сверху вниз, снизу вверх, справа налево. Клетки, расположенные в нижней части сетчатки, возбуждаются светом, падающим из верхней части поля зрения; предметы, расположенные в нижней части поля зрения, посылают свет в верхнюю часть сетчатки. Светочувствительные элементы глаза реагируют именно на направление света по лучу: это их свойство возникло в ходе эволюции и является врожденным. В естественной обстановке сознание вообще не участвует в восприятии направления — это совершается автоматически: возбуждена «нижняя» клетка — раздражитель наверху, «левая» — раздражитель справа и так далее. Опыт с надавливанием на глаз хорошо иллюстрирует это. Иное дело — способность мозга переучиваться в искусственных условиях. Но об этом позднее.

нус с вершиной в хрусталике. Это и есть *поле зрения* глаза (неподвижного, естественно). Плотность лучей в этом конусе неравномерна: в его центральной части она очень высока (проекция центральной ямки сетчатки), ближе к краям — резко уменьшается. Соответственно изображения предметов на оси центрального пучка лучей очень детальные — *острота зрения* высокая (образно говоря, по лучу на каждую точку предмета). Изображения предметов на периферии конуса приблизительны (по лучу на участок предмета). Детальные изображения воспринимаются сознанием ясно, приблизительные — более или менее смутно. Переменим ход лучей на обратный — из внешнего мира в глаз; картина теперь будет соответствовать реальности, хотя мы изменили только направление стрелки на каждом луче.

Лучевые построения необходимы еще для исследования *бинокулярного зрения* — той ветви науки о зрении, которая выявляет связи между положением (а также формой и протяженностью) предметов в пространстве и положением изображений на сетчатках обоих глаз человека (точнее, живого существа, так как речь может идти и о бинокулярном зрении животного). Строение обеих сетчаток одинаково; поля зрения обоих глаз практически симметричны. В нормальных условиях оба поля зрения примерно на две трети совмещены. Поэтому, когда человек смотрит на сравнительно близкий предмет, каждый участок предмета «ощущается» не одним, а двумя пучками «зрительных лучей»; иначе говоря, один предмет дает два очень сходных, но все же чуть различающихся изображения.

Но, для того чтобы два сходных по форме изображения слились в мозгу в единый образ, этого мало; необходимо выполнить еще одно условие: оба изображения должны оказаться на идентичных участках обеих сетчаток, то есть спроектироваться на светочувствительные клетки каждого глаза, одинаково расположенные относительно центральной ямки сетчатки (такие участки называют корреспондирующими). Когда пара изображений раздражителя проектируется на идентичные светочувствительные клетки, воспринимается одно направление на объект и одиночный образ раздражителя. Но лишь очень удаленный, то есть практически



Р и с. П. 3. Эксперимент Э. Херинга, показывающий идентичность направлений при возбуждении корреспондирующих участков обоих глаз. Когда зрительные оси обоих глаз направлены в одну и ту же точку, человек ощущает не два, а одно направление на объект. Встаньте примерно в 60 сантиметрах от окна. Голова неподвижна. Прикрыв правый глаз, левым смотрите на далекий предмет, например ель. Поставьте на оконном стекле точку строго на линии взгляда. Теперь закройте левый глаз, смотрите — через точку — правым глазом. Вдали на линии взгляда вы видите другой предмет, например трубу на крыше отдаленного дома. Если теперь посмотреть обоими глазами на точку, поставленную раньше на оконном стекле, вы увидите, что точка, ель и труба будут находиться прямо перед вами, в одном и том же направлении, хотя в реальном пространстве труба и ель отстоят далеко друг от друга. Все остальные отдаленные предметы также покажутся смещенными навстречу друг другу. (По Оглу, 1962.)

точечный, раздражитель дает совершенно идентичные изображения. Во всех остальных случаях пара изображений имеет небольшую, но физиологически значимую асимметрию — *диспаратность*. Сходство обоих изображений — основа их слияния в одиночный образ. Диспаратность изображений — основа ощущения объемности, трехмерности этого образа, основа *стереозффекта*.

Для того чтобы яснее представить себе этот нелегкий для понимания, но очень важный механизм, рассмотрим простую схему. Пронумеруем все соответствующие участки сетчатки обоих глаз одинаково. Некий предмет, расположенный в пространстве, наблюдаем

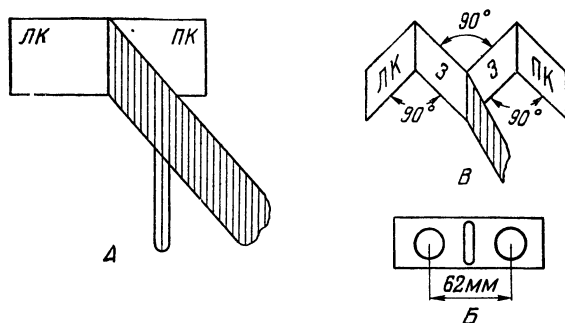


Рис. П. 4. Схематическое изображение простейших стереоскопов. А) Наиболее прост разделитель полей зрения — перегородка и рамка для двух картинок стереопары: левой (ЛК) и правой (ПК). Длина непрозрачной перегородки, перпендикулярной рамке, 30—50 сантиметров. Б) Рамка-бинокуляр. В круглые отверстия вставлены собирательные линзы равной силы. Сила линз зависит от расстояния до картинок стереопары: при расстоянии 10 сантиметров нужны линзы в +10 диоптрий, при расстоянии 20 сантиметров — линзы в +5 диоптрий. Рамка-бинокуляр насаживается на перегородку разделителя, либо ее просто держат в руке как лорнет. В) Зеркальный стереоскоп. Два небольших зеркала З устанавливают так, чтобы тыльными сторонами они стояли под прямым углом друг к другу. Под углом 90 градусов к каждому зеркалу устанавливают рамку для одной из картинок стереопары. Непрозрачную перегородку ставят как биссектрису тупого угла между лицевыми поверхностями зеркал; длина ее та же, что в разделителе полей зрения. Можно насадить в начале перегородки рамку-бинокуляр, и получится зеркально-линзовый стереоскоп. Стереозффект можно научиться видеть и без всяких приспособлений, либо глядя как бы сквозь рисунки, то есть дивергируя, либо конвергируя, то есть сшивая глаза к носу.

бинокулярно. Положим далее, что его изображение в каждом глазу проектируется на девять участков сетчатки; но в правом глазу это будут участки с 1 по 9, а в левом — со 2 по 10, то есть восемь идентичных и два диспаратных. Вспомним, что каждому участку соответствует свой «луч» — свое направление в пространстве. Построив лучевую схему (аналогично тому, как это показано на рис. П. 5), мы найдем предмет, совершенно определенным образом расположенный в пространстве. Таков в принципе физиологический механизм *стереозрения*, то есть бинокулярного восприя-

тия глубины, объемности; есть еще *моноккулярные* механизмы глубинного зрения — о них мы скажем позднее.

Теперь читателю ясно, что бинокулярное зрение требует точной согласованности движений обоих глаз. И перемещения взгляда (повороты обоих глаз вправо, влево, вверх, вниз) и противонаправленные движения глаз (конвергенция и дивергенция) строго согласованны. Для того чтобы обнаружить в этой живой системе погрешности, неизбежные в силу ее чрезвычайной сложности, прибегают к искусственным приемам исследования, например делят поля зрения обоих глаз и специально проектируют на сетчатку каждого глаза особым образом рассчитанные изображения.

Итак, мы рассмотрели связи между раздражителем и его изображением на сетчатке. Если бы остановиться на этом, изучая зрение — как все было бы легко, просто, точно. «Царство Луча». Здесь царят строгие законы геометрической оптики, законы отражения, преломления, поглощения света, одинаково справедливые для физических систем, состоящих из линз, призм, зеркал, и для живой оптической системы глаза. Глаз как фотоаппарат: объектив — роговица с

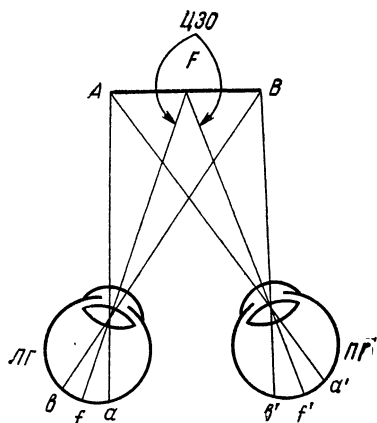


Рис. П. 5. Схема бинокулярного восприятия пространственного расположения предмета AB . Центральные зрительные оси ($ЦЗО$) обоих глаз направлены в одну и ту же точку F . Точки A и B лежат на линии, параллельной воображаемой базисной оси, то есть линии, соединяющей узловые точки обоих глаз — точки пересечения лучей света, преломленных оптической системой каждого глаза. Изображения предмета одинаковы по форме и протяженности на сетчатке обоих глаз ($ab = a'b'$), но края изображений неодинаково отстоят от середины центральной ямки сетчатки: в левом глазу $af > bf$, а в правом, наоборот, $a'f' < b'f'$. Это точно соответствует тому, что край предмета A находится ближе к левому глазу, а край B — к правому.

хрусталиком, диафрагма — радужка со зрачком; фотопластинка — сетчатка. Изображение на пластинке рассматривает фотограф. Изображение на сетчатке разглядывает...

Но здесь аналогия кончается. В черепной коробке нет «человечка», изучающего изображения. Есть только мозг. И получает мозг от сетчатки не изображение, а совокупность сигналов-импульсов. С появлением этих слов мы покидаем ту область науки о зрении, где безраздельно властвует Луч.

Когда физик занимается вопросами энергии света, изучает его волновые или корпускулярные свойства, он не пользуется больше понятием луча. Луч — абстрактное геометрическое понятие, используемое человеком только для того, чтобы показать направление движения света.

То же положение в изучаемой нами проблеме. Путь лучей света кончается на поверхности сетчатки. В глубине ее, в слое светочувствительных клеток — колбочек и палочек — действует уже не луч, не воображаемая прямая линия, вдоль которой движется свет, а реальная энергия света.

Процесс зрения не завершается изображением на сетчатке, а начинается с него.

ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНЫЕ ИМПУЛЬСЫ И ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ПРОЕКЦИЯ

В итоге здесь, как и всюду в физиологии, гораздо больше остается знать, чем сколько известно.

И. П. Павлов

Первым и последним непосредственным результатом действия света на сетчатку является возбуждение ее светочувствительных клеток. Конечный результат — зрительное восприятие внешнего раздражителя — следствие сложнейшей цепи процессов в центральной нервной системе, вызванных импульсами, идущими из возбужденных элементов сетчатки, — центrostремителными импульсами.

Путь этих импульсов изучает электрофизиология. В своих опытах вы, читатель, естественно, не занимались ею, но некоторые сведения, полученные электрофизиологами, необходимы для того, чтобы разобраться в нашей проблеме. Нас интересует цепочка раздражитель — раздражение — возбуждение. Электрофизиология изучает путь, природу, характер возбуждения. Схема этого звена такова.

Свет вызывает химические изменения в молекулах зрительных пигментов сетчатки. Эти изменения порождают колебания электрического заряда, распространяющиеся по волокнам зрительного нерва к периферическим зрительным центрам; отсюда новые импульсы идут в кору мозга и в другие его отделы. Движение (и частоту) импульсов физиологи научились записывать, вводя непосредственно в нервную клетку или в волокно тончайшие иглы-электроды. Само собой разумеется, такие исследования проводятся почти исключительно на животных. (Об исключениях мы скажем позднее.) Например, регистрируя электрические потенциалы, возникающие в коре головного мозга после того, как раздражитель подействовал на определенный участок сетчатки, можно с достаточной точностью установить «центростремительную проекцию» этого участка сетчатки, то есть узнать, в каких клетках коры мозга возникает возбуждение при раздражении данного участка сетчатки этим раздражителем. Оказалось, в затылочной части коры мозга есть две области (по одной на каждое полушарие), воспроизводящие топографию сетчаток следующим образом. Если раздражитель проецируется (из левой половины поля зрения) на часть сетчатки, расположенную справа от центральной ямки правого или левого глаза, то возбуждение возникает в затылочной зоне правого полушария. Когда раздражитель проецируется влево от центральной ямки сетчатки, возбуждение возникает в симметрично расположенной зоне левого полушария. Что касается импульсов, идущих из центральных ямок, то большинство исследователей считают, что их центростремительная проекция достигает обоих полушарий в затылочном полюсе мозга, но этот вопрос еще до конца не решен.

Мы не зря говорим об участках, а не о клетках

сетчатки. «Неравноправие» центральной ямки и периферии сетчатки не только не устраняется, но даже подчеркивается мозгом: на единицу площади центральной ямки приходится примерно в 500 раз бóльшая зона коры мозга, чем на такую же единицу площади периферии сетчатки. Дело, однако, не ограничивается подробностью центростремительной проекции сетчатки.

Электрофизиологи установили, что некоторые участки сетчатки специализированы: например, одни клетки реагируют только на появление света, другие — только на выключение его, третьи — и на то, и на другое. А в мозге есть и вовсе узкая специализация: одни клетки возбуждаются, когда раздражитель имеет прямоугольный край, другие, когда край круглый, третьи реагируют на движение раздражителя поперек поля зрения, четвертые — только на раздражитель, проецирующийся одновременно в поле зрения обоих глаз, и так далее.

Самые разные признаки раздражителей находят свое отражение в расположении и характеристике участка коры мозга, возбужденного центростремительными импульсами.

Что такое «центробежная проекция»? Вот здесь речь и пойдет об исключениях. При нейрохирургических операциях приходится обнажать поверхность мозга человека. Вещество мозга нечувствительно к боли. Нередко во время операции пациент находится в полном сознании. Ученый-нейрохирург У. Пенфильд провел следующий опыт. Он наносил безвредные точечные раздражения в различных зонах коры мозга, а его пациенты сообщали о своих ощущениях. Эти ощущения строго зависели от того, на какой участок коры наносилось раздражение.

Давно существует составленная на основании анатомических различий «карта» мозга. Так вот, раздражение любой точки в поле 17 этой карты, то есть именно в проекционной зрительной зоне, вызывает у человека ощущение вспышки света, «видимой» во внешнем пространстве, в совершенно определенном направлении. Правда, как ни раздражай поле 17, никаких сложных образов человек не воспринимает. Однако такие образы могут быть вызваны, если раз-

дражать соседние зоны коры, куда импульсы из сетчатки вовсе не идут.

О функциональных связях глаза и мозга известно гораздо больше, чем мы сказали, хотя, конечно, еще далеко не все. И, вероятно, если в принципе разрешено поставить знак равенства между возбуждением клеток мозга и зрительным восприятием, есть возможность, наконец, облегченно вздохнуть и довести рассказ о механике зрения почти до конца? Ну, например, так. Изображение предмета на сетчатке глаза есть, в сущности, возбуждение определенным образом расположенных нервных клеток сетчатки. Возбуждение любой клетки не случайно, а зависит от определенной физической характеристики раздражителя, от его яркости, формы, цвета, скорости и направления движения, положения в поле зрения и тому подобного. Далее, импульсы, сигнализирующие об этих характеристиках, передаются в мозг и вызывают там возбуждение клеток коры — в сознании возникает зрительный образ раздражителя. Казалось бы все.

Увы, это далеко не все. Мы не знаем физиологического содержания понятия «сознание». Мы не имеем точного в научном отношении определения понятия «зрительный образ», не знаем даже, где именно и каким образом он формируется. «Словарь образов», с одной стороны, гораздо богаче, с другой, — беднее языкового словаря. Смесь всех цветов радуги вызовет образ «белое», но для получения этого образа достаточно и двух правильно подобранных цветов. Образ розы возникнет у человека, рассматривающего живой цветок, но затем ему достаточно взглянуть на двумерную картинку, или услышать запах этого цветка, или даже просто прочесть слово «роза». Характер возбуждения в клетках сетчатки и мозга зависит не только от того, какой раздражитель действует сию минуту, но и от многого другого. Например, от того, какой свет падал на глаз раньше — сильный или слабый, синий или красный, постоянный или прерывистый; на какое место сетчатки упало данное раздражение — в середину или на край, на утомленный участок или на отдохнувший и так далее. Луч света нарисует на сетчатке сотню одинаковых изображений, а в мозг пойдут

совсем разные сигналы и восприняты они будут по-разному.

Без возбуждения клеток мозга нет зрительных ощущений. Это верно. Но верно и то, что между возбуждением этих клеток и зрительным восприятием нельзя поставить знак равенства. Когда-нибудь наука расшифрует карту «неведомой земли», через которую совершается переход от возбуждения нервной ткани к феномену сознательного восприятия. Наверное, это давно удалось бы именно электрофизиологам, но живой мозг никогда не бывает похож на море тьмы, в котором мерцает единственный, вызванный нами, маячок возбуждения. Напротив, это океан света, в котором мерцают тысячи огней, а среди них дрейфуют темные острова с зыбкими очертаниями. Один, десять или даже сто известных нам огней — как мало они значат среди этого океана...

А пока забудем об импульсах и сигналах и вернемся к нашим опытам. Мы не отказываемся от попытки найти ответ на интересующие нас вопросы. Просто подойдем к ним с другой стороны. Узнав кое-что о среднем звене цепочки, мы перепрыгнем через чистую физиологию и займемся психофизиологией, или, как ее еще называют, психофизикой. Раздражитель — ощущение — восприятие — вот какую последовательность мы изучаем в опытах. От физики здесь — характеристика раздражителя, от психологии — характеристика ощущений и восприятия; первая — объективна, вторая — субъективна. Поясним последние два термина, так как мы ищем зависимость между категориями, которые в этих терминах выражены.

Объективное называется так не потому, что все воспринимают его одинаково, а потому, что оно вообще не зависит от восприятия. Неважно, например, кто снимет показания спектрографа «излучение с длиной волны 5893 ангстрема» и совсем не обязательно знать, что это просто желтый свет, — достаточно научиться читать шкалу прибора. Но уберем шкалу, и пусть наблюдатель определяет характер излучения, глядя на освещенную белую поверхность. Практически все, кого вы привлечете к опыту, дадут одинаковый ответ. Ничего не зная ни о длинах волн, ни о самом приборе, всякий скажет: «Желтый». Не-

заметно для наблюдателя измените длину волны света или яркость излучения — это немедленно будет замечено. Вот вам и субъективность!

В научных наблюдениях надежными могут быть не только объективные, но и субъективные результаты. Единственное условие — воспроизводимость. Если, повторив условия предыдущего опыта, в следующем эксперименте с тем же наблюдателем вы получаете тот же результат, если то же происходит, когда опыт повторяет другой экспериментатор, факт можно считать установленным. Это будет объективно установленный факт о характере субъективного восприятия. Проверив наблюдение на других, вы можете обнаружить, что установленный вами факт справедлив для всех или лишь для некоторых наблюдателей, — но это уже не относится к нашим экспериментам со зрением.

Перейдем теперь к цепочке раздражитель — ощущение — восприятие.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЗРИТЕЛЬНЫЕ ОЩУЩЕНИЯ И ВОСПРИЯТИЕ СЛОЖНЫХ ПРИЗНАКОВ

— Изложите жалобу, Истец.

— Ваша честь, темной ночью я стоял в своем доме у широко раскрытого окна. Вот этот человек — Ответчик — подошел с улицы к окну — в темноте я не увидел его — и ударил меня по лицу.

— Скажите, Истец, если темнота помешала вам увидеть человека, то как вы смогли опознать в нем Ответчика?

— От сильного удара, Ваша честь, в моем глазу вспыхнул столь сильный свет, что я отчетливо разглядел лицо этого человека.

Из архивов... суда за 18... год.

Надо отдать должное судье, совершенно справедливо отклонившему иск: в самом начале XIX века, когда это дело слушалось в небольшом германском

городе, обосновать несостоятельность утверждений Истца было очень непросто. Учение о зрении в то время сводилось к довольно примитивной теории строения глаза, основанной на некоторых данных анатомии и геометрической оптики.

«АДЕКВАТНЫЙ РАЗДРАЖИТЕЛЬ? А что это такое?» — спросил бы даже специалист-физиолог того времени, если бы вы попытались объяснить ему разницу между ощущением вспышки света, возникающей, когда в темноте надавишь на глаз, и подлинным светоощущением. Естественная симпатия, которую я испытываю к судье, вынесшему справедливое решение, заставляет меня допустить, что он обосновал приговор экспериментально, например, убедившись в том, что нажимая на глаз, «видит свет» даже под плотно закрытыми веками, а сквозь веки, как известно, и на ясном солнышке ничего не разглядишь.

Но этот эксперимент, строго говоря, не был бы решающим. Ну, пусть «собственный свет глаза» виден, когда разглядеть ничего нельзя, поскольку глаз закрыт. Это еще не доказывает, что при таком «свете» ничего не увидят раскрытые глаза. Впрочем, и это можно проверить экспериментально. А вот чего не проверишь: пусть у тебя самого и не получается, но, может быть, другие способны видеть при этом свете?.. Ну, хотя бы некоторые. И так далее.

Словом, знаете, как в наше время обстоит дело с так называемым сверхчувственным восприятием? Примерно так же можно было до 1826 года «доказывать» опознавание при свете, возникшем от удара по глазу. Дата эта знаменательна не только для науки о зрении, но и для всей физиологии органов чувств: собственно с этого момента, отмеченного появлением трудов Иоганнеса Мюллера, физиология органов чувств началась как наука.

Всякий воспринимающий орган приспособлен для восприятия определенного естественного физического агента (именно последний мы теперь и называем адекватным раздражителем), но все органы чувств обладают одним общим свойством — *раздражимостью*. Все, что способно раздражать их нервную ткань, может вызвать ощущение; характер ощущение

ния зависит не от природы раздражителя, а от устройства раздражаемого органа. Такова суть. Глаз приспособлен к восприятию света. Только свет может реализовать заложенную в органе зрения способность видеть. Но глаз (точнее, нервный аппарат органа зрения) способен сообщать мозгу только ощущения света, а не тепла, прикосновения, вкуса, запаха. Глаз «видит свет» при любом раздражении — тепловом, механическом, электрическом, рентгеновском и т. д. Этот «свет» столь же неспособен служить зрению, сколь «кислый вкус» слабого постоянного тока (пробовали вы когда-нибудь прикладывать контакты батарейки к языку?) не может заменить соленый огурец или порцию уксуса к пельменям.

Изучая зрительный аппарат, применяют как адекватные, так и неадекватные раздражители. Изучая естественно протекающий процесс зрения, пользуются только адекватным раздражителем — светом.

Для того чтобы возникло естественное зрительное ощущение, необходимо, чтобы источник света располагался в пределах поля зрения, а излучение оставалось в границах видимого спектра (длина волны от 700 до 420 миллимикрон) и при этом интенсивность излучения была не ниже пороговой.

Понятие *порога* — одно из важнейших в физиологии органов чувств. Вы познакомились с ним в опыте 16. Подлинный (абсолютный) порог светочувствительности находят, когда наблюдатель достаточно долго был в полной темноте; обычно это время составляет около 60 минут. Определяют наименьшую яркость маленького пятна света, достаточную для возникновения зрительного ощущения. Эта яркость и будет пороговой.

Как только порог пройден, ощущается не только присутствие света, но и направление на свет. Таким образом, простейшее зрительное ощущение характеризуется двумя элементарными свойствами: ощущается *направленный свет*¹.

¹ Конечно, в том случае, когда в физическом пространстве имеется именно направленный, а не равномерно рассеянный свет. Здесь речь идет о нормальных условиях, то есть об условиях, в которых, в принципе, может осуществляться зрение.

Функция светочувствительности сама по себе еще не обеспечивает возможности зрения. Необходима еще *контрастная чувствительность* — ощущение различий (перепадов) яркости. Контрастная чувствительность у человека очень хорошо развита, например, наблюдатель замечает разницу яркости освещения двух площадок, одна из которых освещена лампой 100 свечей, а другая — 102 свечи; на ровно освещенном фоне человек различает черную нить, поперечный диаметр которой всего 4—6 угловых секунд. Различение границ перепада яркости, *выделение контуров*, есть уже переход от элементарных ощущений к восприятию сложных признаков, в частности к *восприятию формы*. Простейший вид этой функции, наиболее близкий к контрастной чувствительности, есть различение яркостных промежутков между мелкими, тесно расположенными предметами; речь идет об *остроте зрения*. Исследуя эту функцию в опыте 15, вы применяли черные объекты на белом фоне (контраст составлял около 80%). Рассмотрите те же буквы на светло-сером, затем — на темно-сером фоне: чем темнее фон, тем ниже окажется острота зрения. Попробуйте на белом фоне показывать не черные, а серые буквы — получится то же: чем меньше контраст, тем хуже различение.

В естественных условиях человек видит мир, потому что это мир контрастов. Когда в окружающем пространстве мало объектов, резко контрастирующих с фоном, зрительная ориентация невозможна. Равномерно освещенное поле зрения — физически вполне определенное, конечно, — представляется наблюдателю «пустым», бесформенным, неопределенным. Рассеянный свет для зрения — та же темнота. Единственное, что удастся «рассмотреть» в таком поле — шарики, капельки, нити, пузырьки, — это частички, нарушающие оптическую однородность тканей вашего собственного глаза (опыты 11 и 12). Если вам и раньше случалось заметить эти «мушки», вы, верно, обратили внимание на то, что особенно отчетливо они видны на равномерном ярком фоне (небо, снег, белая бумага). Дело здесь не только в освещении, но и в том, что, не получая нормальных, резко контрастных изображений, глаз как бы вылавливает в пустом по-

ле все, что хоть сколько-нибудь отличается от пустоты, бесформенности. Если по небу, на которое вы смотрите сквозь булавочное отверстие, наблюдая частицы, нарушающие оптическую однородность прозрачных сред вашего глаза, пролетит большая черная птица или красный самолет, шарики, нити и прочее тотчас же потускнеют либо совсем пропадут. Здесь проявляется еще одно очень важное свойство органа зрения (будем говорить попросту «глаза») — глаз не только реагирует на контраст, но и «охотится» за ним, выделяет наиболее контрастные участки поля зрения, подчеркивает границы перепада яркостей. Это свойство настолько существенно для процесса зрения, что в определенных условиях (вспомните опыты 20, 21, 36, 37) зрение даже «создает» контрасты, отсутствующие в физической характеристике раздражителей.

Зрительный процесс разворачивается во времени, и характер ощущений также меняется во времени. Появление, изменение, исчезновение раздражителя — главные источники зрительного ощущения. К постоянно действующим и неизменным раздражителям глаз привыкает; эти раздражители очень быстро перестают вызывать ощущение, например кровеносные сосуды сетчатки, отбрасывающие тени всегда на одни и те же участки сетчатки, в обычных условиях не воспринимаются (опыт 12).

Физический раздражитель может появиться и исчезнуть практически мгновенно: в течение одной четырехсотой доли секунды яркость прыгнет от нуля до максимума и вновь опустится до нуля. Зрительное ощущение при этом возникнет, когда раздражителя уже не будет в поле зрения. В зависимости от силы раздражения и последующих условий оно будет длиться от нескольких секунд до десятков минут, причем и яркость и цвет воспринимаемого следа раздражения сетчатки будут периодически меняться.

Таким образом, элементарными зрительными ощущениями являются ощущение присутствия и направления света и ощущение контраста. Этим ощущениям свойственны некоторая *интенсивность* (сила), зависящая определенным образом от интенсивности

физического раздражителя¹, и *длительность*, зависящая как от времени действия раздражителя, так и от следовых процессов, развертывающихся во времени в самом аппарате зрения (опыты 15—20 и др.).

Мы ничего не сказали здесь о *цветоощущении*, в частности об ощущениях, возникающих при действии хроматического, а не белого света. Порог ощущения цвета существенно выше, чем порог светочувствительности, но при достаточной интенсивности окрашенного света зрение функционирует, по-видимому, так же хорошо, как и при белом свете. При малых интенсивностях цвет вообще не ощущается («ночью все кошки серы»). Если медленно повышать яркость, то сначала воспринимается голубой цвет, затем зеленый, последним красный. Прodelайте опыт Пуркинье: держа перед собой табличку с красным, голубым и зеленым секторами, погрузите комнату в густой полумрак. Постепенно, по мере адаптации к темноте вы сначала сможете различить один сектор — самый светлый (позже окажется, что это зеленый), затем другой — потемнее (но вы, верно, раньше всего поймете его цвет — голубой); красный будет выглядеть черным и станет виден позже всех. Это вы можете наблюдать и в поле: в сумерках, когда маки кажутся совсем черным, васильки еще ярко голубеют во ржи.

Вопросы цветового зрения сложны и мало разработаны. Поэтому здесь мы будем касаться их не более, чем это необходимо для основной темы. Важно, например, то, что не только яркостный, но и цветовой контраст (при условии, что он воспринимается зрением данного наблюдателя) достаточен для зрительного восприятия формы. Поэтому ощущение цвета будем тоже считать «элементарным».

Переход от элементарных ощущений к сложным признакам не является резким, поскольку само понятие «сложный признак» не может быть достаточно точно определено. Мы ограничимся условным деле-

¹ Например, в некотором диапазоне яркостей сила ощущения пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя (закон Вебера).

нием: отнесем к элементарным ощущениям *субъективное восприятие света*, излучаемого или отражаемого внешними предметами (таким образом, сюда войдут ощущения яркости, направления, контраста и спектрального состава света), к сложным воспринимаемым признакам отнесем *субъективное восприятие самих объектов* — их формы, рельефа, удаленности, движения и так далее.

Необходимость такого деления возникает потому, что механизмы восприятия сложных признаков не могут быть сведены к сумме элементарных ощущений. Убедиться в этом нетрудно.

Книга, лежащая перед вами, имеет форму прямоугольника, — это, в буквальном смысле слова, очевидно. Но почему вы видите ее как прямоугольник — не ясно: ведь на сетчатке глаза изображение книги имеет форму трапеции основанием книзу (угол между зрительной осью и плоскостью стола, на котором лежит книга, составляет не 90 градусов, а всего лишь примерно 60). Посмотрите на книгу сбоку, издали, снизу, вы всегда воспримете ее как прямоугольник. В этом проявляется одно из основных свойств зрительного восприятия — постоянство (константность, инвариантность) сложного признака, в данном случае видимой формы знакомого предмета.

В опыте 33 вы убедились, что размер предмета воспринимается достаточно стабильно, хотя с увеличением расстояния изображение на сетчатке неуклонно уменьшается. Неожиданное доказательство независимости видимого размера от величины изображения на сетчатке было получено и в опыте 18, когда вы «проецировали» последовательный образ то на ладонь, то на стенку или на потолок; на ладони птица была маленькая, на стене — большая, а ведь источник обоих образов был постоянным, так как площадь раздражения на сетчатке не менялась; менялось только расстояние до плоскости, на которую проецировался образ.

В этих опытах отчетливо проявилась важная закономерность зрительного восприятия сложных признаков — *синтез* ощущений, приводящий к формированию целостной картины видимого мира.

Инвариантен на самом деле не видимый размер

предмета, а отношение размера к воспринимаемому расстоянию до предмета. Стоит неверно оценить расстояние — возникнет неправильное представление о размере предмета, и наоборот. Прекрасный пример приводит С. И. Вавилов: «...в течение короткого мгновения кошка была видна величиной с корову; показалось, будто эта кошка идет по удаленному забору; на самом деле она шествовала по крыше, около окна, через которое ее было видно. Получилась приблизительно двадцатикратная ошибка в оценке расстояния»¹.

Иллюзия длилась очень недолго: точно известные наблюдателю размеры животного — настолько мощный фактор восприятия правильного соотношения вещей в пространстве, что зрительная система тотчас произвела переоценку расстояния.

Но и соотношение размер/расстояние — далеко не изолированный фактор восприятия реальных предметов внешнего мира. Ведь оценка расстояния имеет свои независимые от видимого размера «инструменты» восприятия моно- и бинокулярной природы. В нормальных условиях главным инструментом оценки расположения предметов в трехмерном мире является *бинокулярное стереоскопическое зрение* (опыты 25—31), о котором мы уже упоминали в разделе «Глаз и лучевая оптика». Напомним только, что физиологическим механизмом стереозрения является диспаратность — определенная асимметрия формы и положения двух изображений, принадлежащих одному и тому же предмету, на сетчатке обоих глаз. Это очень тонкий и точный механизм. Достаточно сказать, что разница в удаленности двух предметов (или двух деталей одного предмета — рельеф) воспринимается бинокулярным зрением, начиная с асимметрии изображений, составляющей всего 10—12 угловых секунд. Механизм действует в одно и то же время по всему полю зрения, общему для обоих глаз, но наиболее точно — в отношении предметов, расположенных близко к наблюдаемому объекту. Одновременно ощущается положение всех видимых предметов в пространстве относительно фиксированного объекта. Человеку не нужно переводить

¹ См. С. И. Вавилов, Глаз и Солнце, Изд-во АН СССР, 1950, стр. 86.

взгляд с одного предмета на другой, чтобы воспринять их удаленность относительно друг друга. Она ощущается по диспаратности изображений этих предметов, по их физиологическому двоению (опыт 26). Даже при неподвижном взгляде весь видимый мир представляет собой трехмерное поле-пространство.

Целостность поля зрения, взаимосвязь всех объектов, расположенных в нем, — закономерность, столь важная для работы зрения, что все помехи целостному восприятию искусственно подавляются в аппарате зрения. Один пример вы знаете: слепое пятно (опыт 14) нельзя наблюдать в естественных условиях, никакой «дыры» в поле зрения нет, мозг как бы заполняет часть поля зрения, соответствующую положению слепого пятна.

Есть еще более яркий способ демонстрации этой фундаментальной особенности работы зрения. Сверните узкую трубку (хотя бы из газеты) и приставьте ее к одному глазу; у конца трубки перед другим глазом поставьте собственную ладонь, чтобы она заслонила центр поля зрения этого глаза. Тем самым вы «выключите» всю периферию поля зрения для глаза, который смотрите через трубку, и весь центр поля зре-



Рис. П. 6. Так проводится опыт «дыра в ладони» (см. текст).

ния — для другого глаза. Смотрите вдаль прямо перед собой. Этот опыт называется «дыра в ладони». Образуется довольно странное поле зрения: его периферия — предметы в комнате и ладонь, а центр — «дыра» в ладони, сквозь которую видны далекие предметы, — и все это составляет единую картину. В зрительном аппарате часть изображения ладони, закрывающая центр поля зрения одного глаза, полностью подавляется.

Подавление деталей образа, мешающих формированию взаимосвязанной зрительной картины, — столь же естественный и необходимый для зрительного восприятия процесс, как и возбуждение нервных клеток, с которого начинается формирование образа. Оба процесса протекают автоматически, без участия сознания.

Проделайте еще один простой опыт; назовем его «прозрачная рука». Согните руку в локте, подымите ее и держите вертикально так, чтобы запястье было в 25—30 сантиметрах от ваших глаз. Смотрите на свою руку. Предмет вполне материальный, не правда ли? Теперь просто посмотрите вдаль, не меняя положения руки и головы. Плоть руки как бы «растворилась», рука стала «прозрачной». На самом деле произошло попросту почти полное подавление той части образа внешнего мира, которая мешает формированию целостной картины. В результате хорошо видны только те объекты, на которые направлено ваше внимание. Это работает бинокулярное зрение. Проверьте: по-прежнему, не меняя положения руки и головы и глядя вдаль, закройте один глаз — вы увидите и руку, и далекий объект; то же будет, если прикрыть не правый, а левый глаз. Можно, конечно, наблюдать не руку, а, скажем, непрозрачную полосу картона. При некоторой ширине полосы (большей чем поперечник вашего запястья) она не станет вполне «прозрачной», хотя кажущаяся ширина ее уменьшится. Дело в том, что полное или почти полное подавление образа объекта, закрывающего часть бинокулярного поля зрения, происходит только в тех случаях, когда объект не закрывает центральных участков поля зрения обоих или по крайней мере одного глаза. Заметьте, что рука кажется прозрачной и в тех случаях, когда вы ста-

вите ее точно против одного глаза (глядя, конечно, обоими).

Центральное зрение играет роль главной оси, вокруг которой формируется картина видимого пространства. Вы знаете о том, что именно центральное зрение обладает наибольшей остротой (опыт 15). При бинокулярном зрении зрительные оси обоих глаз направлены в один и тот же участок наблюдаемого объекта. Помня о слиянии «идентичных» изображений в единый образ (опыты 25—29) и о закономерном снижении остроты зрения от центра к периферии, вы легко представите себе зрительное пространство, отражающее трехмерный мир реальных объектов, как некую функциональную пирамиду. На ее вершине находится объект, изображения которого проецируются на центральные ямки сетчатки обоих глаз; эти изображения наиболее подробны. На «уступы» пирамиды проецируются изображения других, нефиксируемых объектов, чем дальше данный уступ от вершины пирамиды, тем менее подробно лежащее на нем изображение.

Внимание наблюдателя обычно направлено именно на объект, рассматриваемый центральным зрением. Но центральное зрение и внимание — вещи разные. Вы знаете, что, глядя на учителя, вам случалось в то же время сосредоточивать все внимание на каком-нибудь ином человеке или предмете, который вы в это время видели лишь краем глаза. Задача это нелегкая, но выполняемая: выполняемая, поскольку, повторяю, центральное зрение и внимание — вещи разные; нелегкая, поскольку именно центральное зрение приносит сознанию максимум сведений о предмете наблюдения, и потому в естественных условиях «оси» зрения и внимания совпадают.

Неподвижно глядя перед собой, вы видите бинокулярно трехмерное пространство в телесном угле с угловым диаметром примерно 120 градусов. Но, желая подробно рассмотреть все предметы, находящиеся в этом пространстве, вы переводите взгляд с одного предмета на другой, так как точное восприятие формы, цвета, рельефа, удаленности требует работы центрального зрения.

Периферия поля зрения дает приближенное представление о пространстве и предметах, а центр прове-

ряет и уточняет его. Периферия позволяет мозгу сформировать предсказание, сделать прогноз о сложных признаках предметов, расположенных в пространстве, а центральное зрение служит для контроля этого прогноза. Поэтому хорошая зрительная ориентация в пространстве требует не только высокой остроты, но и нормального поля зрения (опыт 13).

Для того чтобы точное представление о рассматриваемых в реальном пространстве объемных предметах сформировалось в сознании наблюдателя, его зрительная система должна проделать огромное количество самых разнообразных операций, скоординировать оценки различных признаков этих предметов в единую связную картину. Перечислим основные операции и оценки, участвующие в синтезе.

Выделение контуров и различение перепадов яркости (основанное на контрастной чувствительности глаза) позволяют — с помощью механизмов, от которых зависит острота зрения, — различить отдельные предметы и детали этих предметов. Синтез характерных признаков формы предмета позволяет опознать их (о физиологическом содержании этой операции известно очень мало). В соответствии с видимым размером опознанного предмета проверяется оценка его удаленности от наблюдателя, подготовленная и другими, не зависящими от опознания оценками. Среди последних: линейная перспектива (то есть постепенное уменьшение размера всех видимых предметов по мере их удаления, схождение параллельных линий, сближение земли и неба у линии горизонта), воздушная перспектива (постепенная утрата предметами видимых деталей рельефа по мере удаления, уменьшение интенсивности теней и цвета на их поверхностях, стремление предметов слиться с фоном), перекрывание дальних предметов близлежащими; это далеко не исчерпывающий список.

Все перечисленные операции и оценки выполняются не только при бинокулярном зрении, но и при наблюдении одним глазом; поэтому их называют *монокулярными факторами восприятия*. Именно благодаря монокулярным факторам возможны весьма интересные для нас «иллюзии, верно отражающие действительность». Это определение, несмотря на его парадоксаль-

ное звучание, буквально выражает суть дела, так как речь идет о графике, живописи, кино, словом, о тех общеизвестных случаях, когда человек воспринимает «глубину», глядя на двумерную плоскость, бумаги, холста или экрана¹. Внимательно изучив пейзаж, написанный хорошим художником-реалистом, вы обнаружите, что впечатление трехмерности возникает именно на основе перечисленных выше закономерностей восприятия. Это впечатление резко усиливается если ограничить поле зрения «полем» картины (рассматривание картины одним глазом «через кулак», то есть узкую трубку). Голову при этом лучше держать неподвижно.

При наблюдении реального пространства движения головы относительно неподвижных объектов (или наоборот) помогают — даже при монокулярном зрении — точно воспринять относительную удаленность объектов по скорости и направлению перемещения их изображений поперек сетчатки².

Эффект, вызываемый ограничением поля зрения при рассматривании картины, объясняется тем, что при этом исключаются, во-первых, противоречащие восприятию глубины на картине окружающие трехмерные предметы (рама, стена, люди) и, во-вторых, бинокулярные механизмы восприятия удаленности, которые в случае неограниченного поля зрения вступают в

¹ На первый взгляд, наиболее точный пример такой иллюзии — цветная фотография. Но это неверно. Фотоаппарат сам по себе столь же пригоден для искажения действительности, сколь и для точного ее изображения, так как объектив и пластинка передают распределение света и цвета согласно законам геометрической оптики — и только. Для того чтобы изображаемое соответствовало действительности, воспринимаемой человеком, нужно не только иметь фотоаппарат, кисть, карандаш, но и должным образом выбрать объект, ракурс, освещение и т. д. Словом, нужен хороший художник.

² Это так называемый монокулярный параллакс (в отличие от бинокулярного параллакса, то есть диспаратности, асимметрии парных изображений). Принцип этого фактора восприятия ясен каждому, кто хоть раз наблюдал местность из окна движущегося поезда: она как бы поворачивается вокруг той точки, куда устремлен взгляд наблюдателя; все предметы, находящиеся ближе этой точки, движутся навстречу поезду мимо наблюдателя, а все дальние предметы «едут» в ту же сторону, что и поезд, — тем медленнее, чем дальше они находятся от наблюдателя.

конфликт с монокулярными факторами восприятия (при постоянном угле конвергенции к плоскости картины бинокулярный механизм свидетельствует: «Нет разницы в удаленности — нет глубины!», а монокулярные факторы твердят свое: «Есть глубина!»).

Возможность конфликта между разными механизмами восприятия — очень важный момент. В целостном акте зрения бинокулярные и монокулярные факторы зрительного восприятия служат не только для разных, но и для одних и тех же оценок, частично перекрывая друг друга. В результате видимое человеком пространство содержит все элементы, не противоречащие связной, целостной, осмысленной картине.

Во всех случаях движения глаз необходимы для проверки, уточнения, перестройки воспринимаемого, так как благодаря этим движениям на «острие» центральной оси монокулярного конуса или бинокулярной пирамиды попеременно попадают разные участки поля зрения.

Зрение — практически непрерывный анализаторно-синтетический процесс. Мы различаем в нем уровни элементарных ощущений и сложных восприятий предметов, выделяем особые признаки и механизмы, перечисляем операции и оценки, выполняемые высшим аппаратом зрения. Это правомерно, иначе нельзя вести исследование. Но перечисленные компоненты, рассматриваемые в отдельности или группами, все же говорят о принципиальной организации зрительного процесса столько же, сколько блоки разноцветных камней, изъятые из мозаичной фрески, рассказывают о ее содержании. Даже для того, чтобы каждый камешек был оценен по достоинству, надо знать всю картину в целом, необходимо понимать ее назначение и ее смысл.

Ведь именно такую цель мы поставили перед собой с самого начала — узнать, как работает зрение человека. Мы рассчитывали получить ответ на вопрос о том, насколько надежно воспринимается действительность посредством зрения.

Суммируем все, что мы узнали, и посмотрим, получены ли ответы на интересующие нас вопросы.

КОНЕЦ... И НАЧАЛО

От знания к сомнению, от сомнения к опыту, от опыта к знанию — и все сначала. Таков нормальный путь научного исследования.

Вспомните: до того как вы приступили к опытам, зрение представлялось вам как нечто сложное, даже «чудесное» — по выражению Дж. Грегга, — но интуитивно понятное. Выражение «чудесное чувство» значило для нас то же, что «замечательное», а вовсе не «непостижимое», хотя именно последний эпитет больше подходит для характеристики чуда в буквальном смысле этого слова.

Экспериментируя, мы надеялись постепенно узнать главное о зрении, разбирая его, так сказать, на составные части. Углубившись в опыты, мы очень много узнали о деталях процесса зрения, но перестали понимать целое. Чем больше мы углубляемся, например, в механизм, управляющий аккомодацией глаза или адаптацией к темноте, тем труднее представить себе общую связь между этими совершенными «инструментами» зрения и, например, иллюзиями формы, контраста, цвета.

Такое положение — нормальный этап научного исследования. Даже если предмет нашего исследования — какой-нибудь простейший организм, амеба например, и мы изучаем ее строение, все наращивая разрешающую силу микроскопа, то вскоре все поле нашего зрения займет маленький участок ее протоплазмы, оказавшийся огромным сложно устроенным миром, а сама амеба — некогда простой кусочек слизи — «разрастется» к этому времени настолько, что представить ее себе всю целиком станет почти невозможно.

При малом увеличении поле зрения велико, при большом — мало. Но это — лишь временный тупик. Узнав частное, надо отойти назад и снова рассмотреть целое, не забывая о том, что представляют собою его части.

Неясно лишь, как далеко надо отойти, чтобы весь феномен зрения оказался в пределах нашего внимания. Ведь факты, выявленные нами при изучении зрения, неоднородны. Ни от одного из установленных экспериментально фактов нельзя просто отмахнуться. Но,

связывая их между собой, строя вывод, обобщение, невозможно охватить все факты сразу, не отдавая ни одному из них предпочтения, — человеческое внимание на это неспособно.

Построение вывода сначала похоже на сборку малознакомой машины: либо деталей не хватает, либо оказываются лишние, не лезущие в конструкцию. В первом случае мы отошли слишком далеко, во втором оказались уж очень близко.

Попытаемся удалиться от массы известных нам фактов постепенно. На основании того, что мы знаем об элементарных зрительных ощущениях и о замечательной способности человека ориентироваться во внешнем видимом мире, построим предварительный вывод I:

При достаточном количестве света и определенном контрасте зрение является высоконадежным природным прибором, позволяющим человеку правильно воспринимать форму и размеры предметов, их взаимное расположение в пространстве, движение и другие признаки.

Фактов, подкрепляющих этот вывод, у нас очень много, и не только тех, что накоплены в повседневной жизни. Многие из них получены в специальных условиях опыта. Так, мы можем обнаружить малейшую разницу в удаленности двух вертикальных стержней (опыт 30); правильно определяем размеры квадратов, хотя их показывают вразнобой и с различных расстояний (опыт 33); мы почти в полной темноте отличаем круг от квадрата, а при чтении успеваем опознать все буквы, хотя наши глаза буквально скачут по строкам, и так далее.

Но и «лишних деталей» очень много: нам случается видеть цветные колышки там, где их на самом деле нет; серое нам кажется то светлым, то темным, то цветным — в зависимости от фона; каркасный куб то висит нормально, то выворачивается наизнанку; расчерченный круг кажется эллипсом, а окруженные орнаментом параллельные линии — кривыми; «бегут» неподвижные спирали; возникает «цвет» на вращающемся черно-белом круге и так далее. Что же, попробуем оценить зрение в целом, основываясь только на этих фактах. Сделаем предварительный вывод II:

В зависимости от сочетания условий зрение воспринимает одни и те же предметы по-разному и потому является совершенно ненадежным прибором восприятия даже при достаточном освещении и контрасте.

Выводы I и II противоположны. Мало того, они не исчерпывают всех существенных фактов. Вы знаете (особенно если работали над опытами не в одиночку), что существуют признаки вещей, по-разному воспринимаемые разными людьми: цвет, удаленность, размеры предметов, даже их форма. Так что напрашивается еще и предварительный вывод III:

Надежность зрения нельзя определить, так как разные люди видят одно и то же по-разному.

Последний вывод как будто исключает два других. Впрочем, возможно, хотя бы этот вывод не правомерен? Может быть, индивидуальные различия в зрительном восприятии цвета, формы и так далее — просто следствие дефектов зрения?

Мы ведь знали и раньше о том, что не все люди видят одинаково, например бывают близорукие — их примерно 20 человек на каждую сотню; бывают дальнорукими (в противоположность первым они видят вдаль лучше, чем вблизи) — этих среди молодежи примерно 12 человек из ста, но зато среди пожилых людей — очень много (в возрасте старше 50 лет потребность в очках для чтения испытывают все люди, кроме близоруких, конечно); бывают цветоаномалы — люди, неправильно различающие цвета (примерно 8 человек на 100 мужчин и лишь одна женщина на 250 представительниц своего пола). Может быть, именно дефектами зрения объясняется тот факт, что разные люди видят по-разному?

Нет, это объяснение не может нас удовлетворить. Помните, автор предупредил, что почти для всех опытов очень малое значение имеют такие дефекты оптики глаз, как близорукость, дальнорукость и астигматизм? И это правда. Цветоаномалы, конечно, различают цвета совсем не так, как остальные люди, — но разве мы вправе сказать, что они видят цвета неверно? Ведь в обычных условиях в повседневной жизни они, как и люди с нормальным (то есть наиболее часто встречающимся) цветоощущением, прекрасно

отличают зеленые листья от пожелтевших, красный огонь светофора от зеленого, голубую «Испано-Сюизу» от коричневой «Волги». Цветоаномалам не разрешают заниматься теми профессиями, где правильное (то есть соответствующее принятым стандартам) различение цвета имеет значение, важное для сохранения жизни и здоровья людей; им, например, нельзя быть водителями транспорта. Даже в пустяковом тумане, когда ни один человек, нормально ощущающий цвета, не ошибется, цветоаномал легко может спутать красный свет не только с желтым, но и с зеленым. Но туман — это уже особое, далеко не обычное условие...

Стоп. Быть может, мы неожиданно нащупали нечто такое, что позволит радикально изменить подход к оценке надежности зрения. Ведь три наших предварительных вывода построены лишь на однородных фактах — поэтому кажется, что любой из них исключает два других. Но в науке все факты равноправны. Понятия «правильный» и «неправильный» относятся лишь к предполагаемым связям между фактами.

Связывая только однородные факты, мы с вами выполнили первый этап построения научной гипотезы. В результате были получены три «взаимоисключающих» предположения. Кстати, и это совершенно естественный путь развития научной теории. Сначала идешь по наиболее очевидному пути — связываешь то, что само просится в связку. И, когда все последовательно выполнено до конца, заходишь в тупик. Должно быть правильно либо одно, либо другое, либо третье! Но стоит махнуть рукой на «лишние детали» — и с наукой покончено. Конструкция, собранная таким образом, — мертворожденная. Она может очень походить на настоящую, может даже поработать немного, если осмелительно выбрать для нее специальный режим, но на настоящих испытаниях она развалится в первую же минуту. Жизнеспособная гипотеза должна включить все факты, особенно противоречивые.

Из тупика, как известно, нельзя выйти, продолжая идти в прежнем направлении. Чтобы не топтаться на месте, нужно изменить способ передвижения — например, подняться над стеной, загораживающей выход.

Снарядом, который «поднимет нас в воздух» над всеми тремя противоречивыми выводами, будет цент-

ральный факт: в привычных для человека условиях его зрительная ориентация в окружающем мире в основном правильна, независимо от того, какие особенности его зрительного восприятия обнаруживаются в особых условиях, в частности в специальных опытах.

Справедливость этого факта не подлежит сомнению. Люди с близорукостью, дальнорукостью, астигматизмом — даже те, у кого один глаз практически ничего не видит, — часто узнают о дефектах своего зрения лишь случайно, например на медицинской комиссии, будучи уже взрослыми, хотя дефект существует много лет или даже является врожденным. То же самое относится и к большинству людей с аномальным восприятием цвета¹.

А теперь попытаемся связать все существенные факты, соединить три ранее сделанных противоречивых вывода в один обобщенный вывод:

Ощущения количества, направления, спектрального состава света и контраста, лежащие в основе зрения, в основном одинаковы, а в частности — различны у разных людей. В особых условиях зрение дает либо неверные, либо ненадежные сведения о реальных предметах; в зависимости от этих условий, а также от внутренних особенностей аппарата зрения, восприятие разных людей обладает различной надежностью. В привычных условиях зрение каждого человека является надежным средством ориентации во внешнем мире.

На этом можно было бы и остановиться, так как формально мы как будто ответили на вопросы о том, как работает зрение (~~разобрав~~ его механику, насколько это было в наших силах) и в какой мере достоверно «очевидное» (в привычных условиях достоверно, в осо-

¹ Есть немало любопытных случаев, когда дефекты зрения дают их носителям определенные преимущества перед людьми, имеющими так называемое «нормальное зрение». Люди с небольшой близорукостью меньше утомляются, выполняя точную работу, чем другие люди, и даже в пожилом возрасте они не нуждаются в очках для чтения в отличие от своих сверстников. А цветоаномалы легко обнаруживают объекты, цветомаскировка которых совершенно скрывает их от людей, нормально воспринимающих цвет.

бых условиях недостоверно либо отчасти, либо полностью).

Но внимательный читатель, наверное, заметил, что такие понятия, как «привычные условия», «ориентация во внешнем мире», «надежность», не были определены достаточно ясно. Подразумевалось, конечно, что «привычное» значит «хорошо знакомое», а «надежная ориентация» равнозначна правильному зрительному опознанию внешних предметов; но стоит немного подумать, и мы почувствуем, что ввести синонимы «привычное — знакомое» или «ориентация — опознание» вовсе не означает определить эти понятия. А между тем определение необходимо. Ведь наш конечный вывод можно кратко сформулировать и так: хотя зрение — ненадежный аппарат восприятия, оно обеспечивает человеку правильную ориентацию в привычных условиях.

Такой вывод нас, естественно, не удовлетворяет: мы хотим узнать, каким образом разрешается это противоречие. Но ни проделанные нами эксперименты, ни повседневный опыт, ни популярные или даже специальные труды по физиологии зрения не позволяют продвинуться дальше. Тем не менее это возможно, если обратиться сначала к процессу формирования зрения и зрительного опыта, рассматривая по мере необходимости не только физиологическую и психологическую, но и биологическую сторону дела.

Конечно, при этом придется отойти еще дальше от собранных нами фактов, но зато в поле нашего внимания феномен зрения окажется не изолированным явлением, а частью сложной функциональной системы, обеспечивающей целесообразное поведение. Лишь такой подход может дать четкое определение понятию «ориентация — опознавание», поможет выявить критерии «привычного» и «надежного», поскольку зрение теперь рассматривается как аппарат, служащий определенным целям. По отношению к биологическим объектам (в отличие от объектов, изучаемых физикой и химией) правомерны не только вопросы *что, как*, но и *для чего*.

Нашей конечной задачей остается изучение зрения человека, а человек — социально-биологический объект, и целесообразность его поведения далеко не исчерпывается биологическими критериями. Но она

существенно от них зависит. Поэтому ряд вопросов, связанных с изучавшейся нами механикой зрения, может быть выяснен только в том случае, если мы ознакомимся с ними по-новому — в биологическом аспекте.

Что такое поведение? Система действий, движений. Не сумма, а именно система, то есть неслучайные, взаимосвязанные сочетания и последовательности движений, подчиненные некоторой общей задаче (или цели). Рассматривая отдельные движения, извлеченные нами из такой последовательности, мы можем обнаружить как верную, так и ошибочную их направленность, но число ошибок системы действий будет известно небольшим, какое бы животное мы ни выбрали в качестве объекта. Если бы это было не так, данного животного не удалось бы найти в природе. Гибель — цена ошибок поведения. Сохранение и продолжение жизни — цель, которой подчинено поведение животного. В достижении этой цели зрение играет огромную роль.

ЭВОЛЮЦИЯ ПОВЕДЕНИЯ И РАЗВИТИЕ ОЧЕВИДНОГО

Вся органическая природа является одним сплошным доказательством тождества или неразрывности формы и содержания. Морфологические и физиологические явления, форма и функция обуславливают взаимно друг друга¹.

Ф. Энгельс

Жизнь. Как случилось, что на Земле возникло нечто, использующее силы Земли и Солнца, не пассивное, но активное по отношению к этим силам? Была ли это случайность, как думают одни, или закономерность, как считают другие? Вне зависимости от того, что ответит на эти вопросы естествознание будущего, ясно одно: жизнь возникла под действием этих сил, развивалась, используя эти силы, и по мере развития все менее явно зависит от этих сил.

Ничто живое не безразлично к притяжению Земли и к энергии, излучаемой Солнцем, и в любом биологи-

¹ См. Ф. Энгельс, *Диалектика природы*, Госполитиздат, 1955, стр. 247.

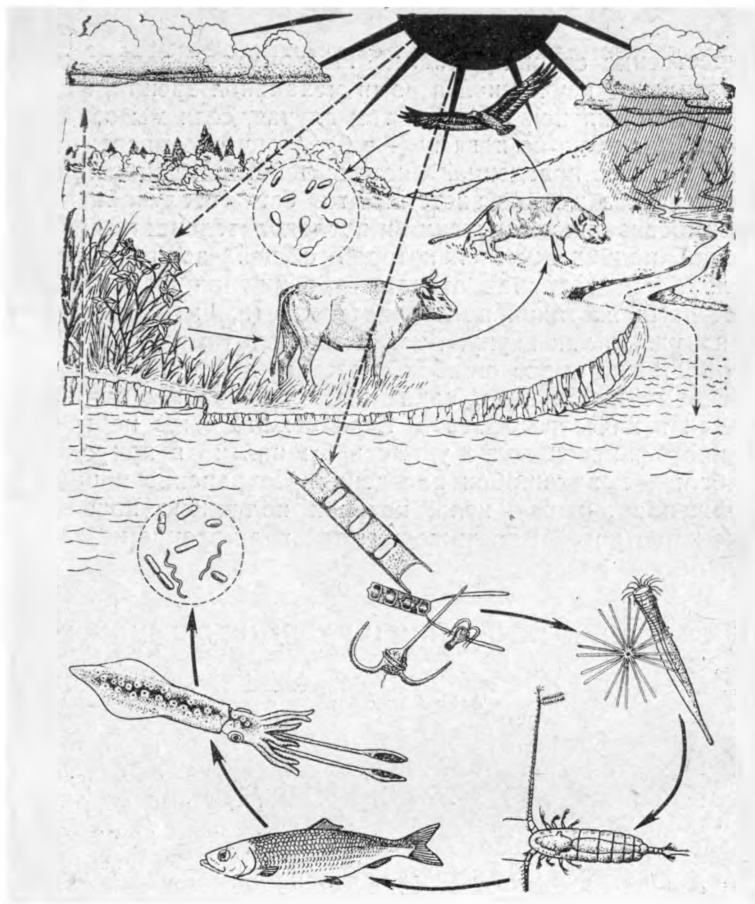


Рис. П. 7. Превращения солнечной энергии в биосфере. Наземные растения используют солнечную энергию для построения органических соединений, потребляемых последовательно травоядными и хищниками, а также животными, питающимися падалью; остатки разлагаются бактериями. В морях и океанах сходная цепь питания начинается с микроскопических автотрофных водорослей. На рисунке показан также кругооборот воды в природе (тонкие пунктирные линии). Испарившаяся влага падает в виде осадков в землю, используется живыми организмами и в конце концов возвращается обратно в море, неся с собой минеральные соли и органические вещества. (По Гробстайну.)

Как видите, человек не включен в эту кольцевую схему. Основная причина заключается в том, что превращения энергии, осуществляемые человеком, выходят далеко за рамки его биологических потребностей.

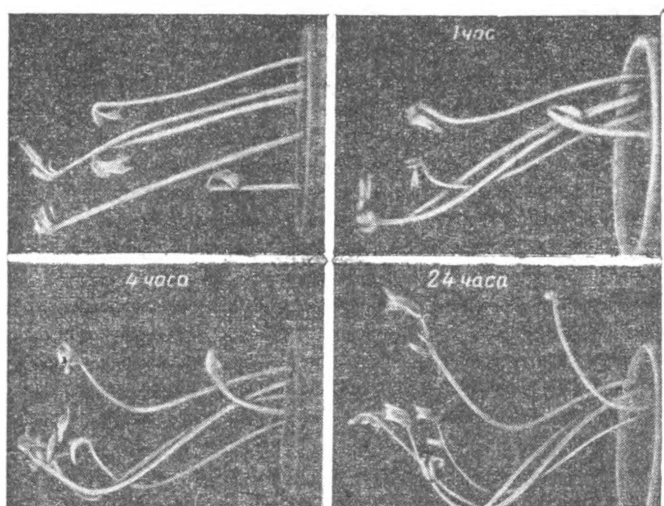


Рис. П. 8. Проростки фасоли были выращены в темноте, чтобы исключить влияние света. Когда цветочный горшок положили набок, все стебли под действием силы тяжести отклонились вниз. Но уже спустя час стало заметным изменение направления роста стеблей. Чем дальше, тем сильнее растущие стебли отклонялись вверх — в сторону, противоположную направлению действия силы тяжести. (По Винчестеру.)

ческом макрофеномене¹, связанном с расположением и движением особи, организма, индивида в пространстве, проявляются в различной степени пассивная зависимость и активное использование силы тяготения и энергии света.

Сила тяготения ограничивает свободу перемещения живых существ в пространстве; эта же сила используется ими как основа ориентации в пространстве. Вертикаль — естественная постоянная координата в системе трех координат земного, водного, воздушного пространства, так как сила тяготения всегда направлена именно по вертикали: вниз, к центру Земли. «Сила», ориентирующая живые тела, также направлена по вертикали, но в противоположном направлении; для растений это — главное направление роста, для живот-

¹ Речь идет об уровне организмов и сложных функциональных систем, а не о молекулярном биологическом уровне.

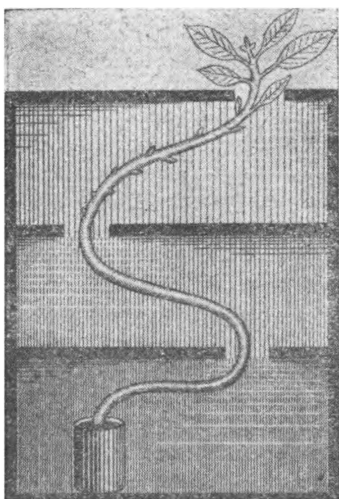


Рис. П. 9. Рост происходит в сторону падающего на растение света. При боковом освещении растение изгибается. Окончательный результат производит такое впечатление, как будто растение ищет выход к свету.
(По Винчестеру.)

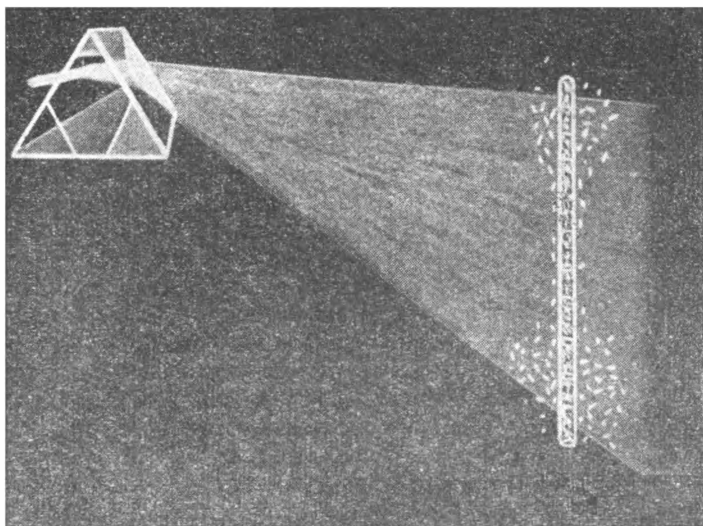
ных — главное положение туловища, основная, или первичная поза (даже у рыб и других животных, пассивная зависимость которых от тяготения очень мала, так как постоянная среда их обитания — вода — практически нейтрализует эту силу, основная поза ориентирована по вертикали).

Движение по вертикали прочь от центра Земли есть в то же время движение навстречу падающей на поверхность Земли энергии солнечного света. Все живое так или иначе реагирует на свет, как правило, заметным движением. Но двигательная реакция на свет — еще не зрение. И все же этой реакции уже присуща определенная избирательность: она

зависит от количества света, от его направления, спектрального состава и еще от состояния реагирующего организма. Даже одноклеточные организмы движутся к слабому свету, прочь — от сильного, неподвижны — при свете средней силы.

Растения, многие бактерии и простейшие — автотрофы: они усваивают саму энергию солнечного света, «питаются» светом. Двигательная реакция автотрофов, стимулируемая светом, есть ориентация на свет.

Зрение начинается с того уровня эволюции, когда в мире живого возникает ориентация движения по свету. Эта ориентация тоже зависит от количества света, его направления и спектрального состава, но свет больше не является целью движения, он служит средством для выбора оптимального пути и наименьшего усилия, то есть для определения наилучшей тра-

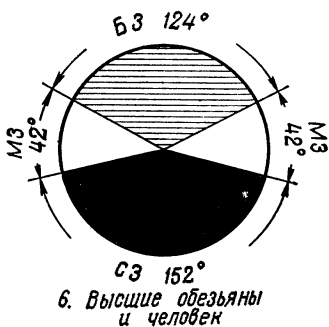
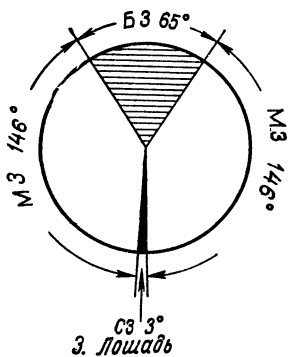
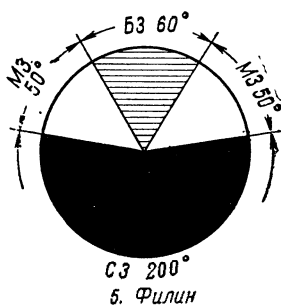
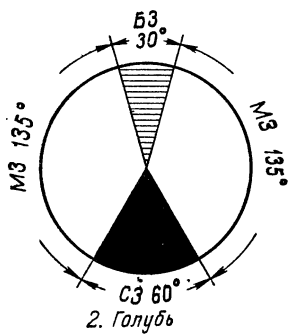
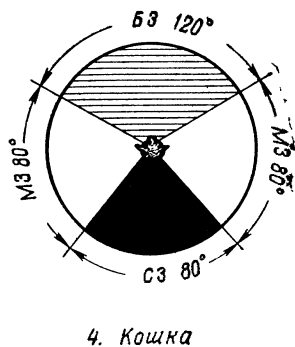
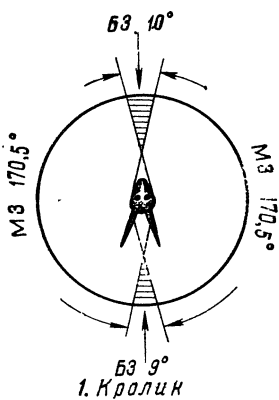


Р и с. П. 10. Узкий пучок белого света, прошедший через призму, разложен на спектральные цвета. По оси спектра расположен стекль водоросли, окруженный бактериями, поглощающими кислород. Видно избирательное распределение бактерий: в большинстве они скапливаются у фиолетового (*внизу*) и красного (*вверху*) концов спектра. (По Винчестеру.)

ектории движения, в конце которой находится цель: пища, брачный партнер, противник или безопасность.

Таково наиболее общее определение понятия «зрительная ориентация в пространстве». В соответствии с этим становятся ясными и другие понятия, важные для нашей темы. Критерием надежности зрения является в конечном счете результат движения: он оптимален при правильном выборе цели и траектории движения к ней. «Привычными» являются те условия, в которых правильный выбор цели и наилучшей траектории движения к ней выполняется сразу, автоматически.

Зрение неразрывно связано с движением. Далеко не сразу зрение стало наилучшим помощником животного при выборе траектории движения, и далеко не во всех случаях зрение является и ныне главным средством даже у млекопитающих. Достаточно напомнить два столь разных в других отношениях примера: дельфин и летучая мышь. Оба млекопитающие и оба очень



мало используют зрение, ориентируясь при движении с помощью эхолокации — улавливания отраженного от предметов звука, который сами же производят. В этих примерах очень важно следующее: сложный эхолокационный аппарат, обслуживающий быстрые и точные перемещения в пространстве, развился у тех животных, постоянная среда обитания которых невыгодна для зрительной ориентации — слишком мало света.

Во всех случаях, когда постоянная среда обитания животных данного вида прозрачна (воздух, поверхность Земли или мелководье), зрение развито тем лучше, чем совершеннее и гибче функционирует аппарат движения в пространстве. (Еще точнее — зрение развито тем лучше, чем совершеннее центральная нервная система. Но это мы пока заметим в скобках.)

В строении глаз, в их расположении и подвижности всегда отражены все существенные особенности, все типичные черты образа жизни, поведения данного вида животных.

Самым замечательным экспериментатором является естественный отбор — основной постоянно действующий закон биологической эволюции. Знакомясь со сравнительной анатомией и физиологией животного мира, поражаешься не только великолепным по эффективности результатам работы этого закона, но и разнообразию путей, которыми достигаются результаты. Вот несколько примеров.

Вспомните опыты 3, 4 и 9, где речь идет о преломлении света и об аккомодации; назначение последнего механизма — формирование резкого изображения на сетчатке при изменении расстояния до предмета. У человека это достигается изменением преломляющей силы хрусталика. Сколько других способов вы можете придумать? Готов спорить, что «воображение» природы никак не беднее вашего. Судите сами. У большинства млекопитающих аккомодация осуществляется так же, как у человека — изменяется кривизна хрусталика. Но у миног и костистых рыб глаз в покое сфокусирован на близкое расстояние, а при рассматривании

Рис. П. 11. Схематическое изображение поля зрения у животных, принадлежащих к разным видам, при неподвижной голове и естественном направлении взгляда обоих глаз. Обозначения: БЗ — бинокулярное зрение, часть поля зрения, общая для обоих глаз; МЗ — монокулярное зрение, часть поля зрения, видимая только одним глазом; СЗ — слепая зона. У потенциальных жертв независимо от положения на эволюционной лестнице явно преобладает функция обзора; бинокулярная и слепая зоны невелики. У всех преследователей (4 и 5), а также у животных, способных манипулировать объектами (6), преобладает бинокулярная зона поля зрения. (По Рошон-Дювиньо.)

далекого предмета хрусталик перемещается ближе к сетчатке; у некоторых амфибий и змей в покое глаз сфокусирован к далеким предметам, а аккомодация состоит в перемещении хрусталика вперед. Есть животные, у которых хрусталик неподвижен, но аккомодация все же происходит за счет перемещения сетчатки. В других случаях изменение фокусного расстояния достигается путем удлинения или укорочения продольной оси глаза, сжимаемого или, наоборот, растягиваемого наружными мышцами. С такими принципами аккомодации вы, вероятно, знакомы. Но вряд ли вам пришло в голову, что можно разделить всю камеру глаза горизонтальной плоскостью на две части и дать одной из них одно, а другой — совсем иное фокусное расстояние. Между тем, природа применила и этот способ; например, у рыбки *Anableps*, обитающей в тропических морях, верхняя половина каждого глаза имеет слабопреломляющую, а нижняя — сильнопреломляющую оптику, и потому эта рыбка, плавая у поверхности воды, видит и в воздухе и в воде одинаково четко.

В каждой принципиальной схеме процесса аккомодации есть множество вариантов. Так, в несферических глазах разные участки сетчатки по-разному удалены от хрусталика, и поэтому даже в стабильном состоянии на одних участках формируются четкие изображения близких, а на других — четкие изображения далеких предметов.

Особенно замечательно то, что даже у видов, по происхождению далеких друг от друга, но долгое время существующих в принципиально одинаковых условиях, вырабатываются аналогичные механизмы, обслуживающие ориентацию в пространстве. Если вы дадите естествоиспытателю глаз животного, ничего не сообщая о «хозяине» глаза, то исследователь, тщательно изучив глаз, быть может, и не назовет точное имя его владельца, но уверенно скажет, в каких условиях он живет (на мелководье или в глубинах морей, на поверхности земли, в воздухе или под землей, питается травой, насекомыми или другими животными) и когда именно предпочитает охотиться (днем, ночью или в любое время суток) и так далее. Этот словесный портрет будет правдивым, но не подробным. Чтобы дать точное видовое имя хозяина глаза, нужно знать не только основные условия его жизни, но и характерные особенности поведения, а последние не отражены в строении глаза. Но, узнав то и другое, ученый назовет вид так же уверенно, как если бы ему показали объемную и цветную копию представителя этого вида.

Чрезвычайно интересно и поучительно проследить шаг за шагом постепенное формирование точного облика животного по особенностям строения его глаза и характерным чертам поведения, но в кратком очерке

сделать этого мы не можем. Для нас важно то, что это действительно возможно: в строении глаза запечатлена полная картина типичного поведения животного, выработанная в многовековом процессе приспособления к данной среде обитания, к определенному образу жизни. Структура глаза — как бы овестьствованная память об этом процессе.

Но запечатление успехов поведения в структуре органа — лишь одна сторона эволюции. Внешний мир постоянно меняется. И если бы новорожденное животное получало в наследство незабываемый монумент, свидетельствующий о вчерашних успехах его предков в борьбе за существование, то день сегодняшний мог бы стать последним в истории данного вида. По наследству передается только остов монумента и пластичный материал, с помощью которого животное в начале своей жизни заполняет этот остов, придавая ему характерные сегодняшние черты в дополнение к типичным — вчерашним.

Увеличение пластичности — вторая сторона эволюционного развития основ поведения. Это самая сложная и самая замечательная сторона эволюции. Далеко не на всех направлениях эволюции эта ее сторона оказалась хорошо выраженной. Во всех случаях, где условия долго оставались почти неизменными, а запечатление успехов поведения было быстрым, эволюция заходила в тупик¹. Резкое изменение условий (которое обязательно когда-нибудь происходит) привело процветающие высокоспециализированные виды животных к полному вымиранию. В наше время такая участь грозит, например, прелестному медвежонку коала, структура организма которого идеально приспособлена к существованию только за счет одного определенного вида эвкалиптовых деревьев. Эти эвкалипты отживают свой век, с ними уйдет и коала, если в естественный ход вещей не вмешаются разум и труд человека. Прекрасная иллюстрация к словам Ф. Энгельса: «Главное тут то, что каждый прогресс в органическом развитии является вместе с тем и регрессом, ибо он закрепляет

¹ Законы и механизмы «запечатления успехов поведения» изучает, в сущности, генетика — наука о наследственной передаче признаков. Начинаящему можно рекомендовать, например, книгу Шарлотты Ауэрбах «Генетика», Атомиздат, 1968.

одностороннее развитие и исключает возможность развития во многих других направлениях»¹.

Прогресс запечатления, то есть специализация врожденного строения органа зрения, достигает вершины отнюдь не у самых высокоорганизованных животных и, конечно, не у человека. Зато прогресс пластичности, то есть увеличение возможностей различного использования врожденных структур, безусловно, соответствует тому, что называют повышением организации, усложнением поведения и, наконец, увеличением разумности. Это не плавный подъем, а крутая лестница, на каждой ступеньке которой находятся новые виды, а не просто усовершенствованные прежние. Подниматься по лестнице эволюции можно только скачками. Кто не поднимается, а обживает одну и ту же ступеньку, вымирает.

Прогресс структуры органа, например глаза, есть совершенствование функции именно данного органа, а прогресс пластичности приводит к улучшению функций независимо от того, произошло или нет улучшение строения органа. Но надо столь же ясно понимать, что прогресс пластичности также опирается на усложнение структуры, только не узкоспециализированной, а универсальной — структуры мозга.

Цель, управляющая поведением животного, — сохранение и продолжение жизни. Пластичность поведения прогрессирующих видов животных, скачкообразно растущая по мере усложнения структуры мозга, показывает, что для достижения цели обязательным условием является не просто приспособление к среде, а преодоление среды.

Чем ниже на лестнице эволюции стоит животное, тем яснее в его поведении проявляется пассивная зависимость от главных сил среды — притяжения и света. Чем выше организовано животное, тем труднее предсказать его поведение в ответ на стимул и тем легче обнаружить в его поведении черты активного использования внешних сил.

У человека «прикладная» роль зрения — выбор наилучшей траектории движения к конкретной видимой цели — сохраняется в полной мере. Это общее в зрении

¹ См. Ф. Энгельс, *Диалектика природы*, Госполитиздат, 1955, стр. 249.

человека и высокоорганизованных животных¹. Однако в формировании поведения человека огромную роль играет и другой, «отвлеченный» аспект работы зрения, поскольку зрение служит целям, связь которых с задачей сохранения и продолжения жизни не только не всегда конкретна, но зачастую вовсе не поддается определению. Речь идет о познании объективных свойств окружающего мира. В развитие того, что называют очевидным, вносят свой вклад оба аспекта зрения: прикладной (первично связанный с движением) и отвлеченный (первично связанный с мышлением). Как движение, так и мышление теснейшим образом связаны со средой, в которой развивается индивид².

Мы будем рассматривать развитие и работу зрения в обоих аспектах по одной и той же функциональной схеме *взаимодействия ожидаемого с ощущаемым*. Эта схема удобна для описания развития самых различных форм поведения и восприятия. Естественно, что содержание входящих в нее понятий будет меняться в зависимости от тех нервных и двигательных аппаратов, которые участвуют в данных актах поведения и восприятия³.

¹ Есть и одно немаловажное различие, обусловленное тем, что зрение участвует в целенаправленных движениях рук и пальцев человека, манипулирующего объектами. Эти движения несравненно тоньше и сложнее у человека, чем даже у высших обезьян. Но корень различия не в зрении, а в самих целях и средствах движений. Поэтому мы можем пока пренебречь этим различием.

² Нам не обойтись без слова «индивид». Взятое из латыни — *individuum*, — оно означает «неделимый». В русском языке случайно (но очень удачно) получилась звуковая связь между терминами «вид» — биологически обособленная группа и «индивид» — одна из особей, относящихся к определенному виду.

³ Чтобы дать читателю более конкретное представление о предлагаемой функциональной схеме, напомним, что один раз мы ее уже использовали (неявно), рассматривая поле зрения человека. В этом частном случае центральное зрение служит аппаратом ощущения, а периферическое — аппаратом ожидаемого (прогноза), движения глаз — средством контроля ожидаемого. Взаимодействие центростремительных сигналов, исходящих из всей сетчатки, происходит, конечно, в мозге. Результат этого взаимодействия, разветвляющегося во времени, — синтез ощущаемого и ожидаемого: вначале восприятие связанной, но приближенной картины, затем строго координированной и подробной «карты» поля зрения. Но если, как это мы делали прежде, ограничиться рамками зрительной системы, допуская лишь один вид

Эволюционная генетика и биокibernетика сделали ненужным идеалистическое представление о «жизненной силе» как двигателе целенаправленного развития и целесообразного поведения. Самый что ни на есть материальный генетический код — не что иное, как вероятностная модель будущего организма; взаимодействие организма со средой реализует один из возможных вариантов модели.

С первого момента своего появления на свет ребенок многого ожидает от мира: воздуха для легких, пищи для желудка, тепла и сухости для кожи, света и контраста для глаз и так далее. Это ожидание не имеет ничего общего с сознанием — оно безусловно. О новорожденном трудно сказать, что это уже индивид, так как примерно до трех месяцев ребенок не сознает окружающего мира, не отделяет себя от него. (По образному выражению Жана Пиаже, в это время «...грудь матери, вероятно, представляется ребенку гораздо более частью его тела, чем собственная нога».) Ребенок являет собой как бы «сумму потребностей», имеющую в каждый данный момент лишь один из двух возможных итогов: хорошо или плохо. Когда все органы получают то, чего требует их врожденная структура, — хорошо, когда чего-то недостает, — плохо. И этого достаточно, чтобы в естественных условиях развитие шло нормально¹.

движений, а именно движения глаз, то задачу определения надежности зрения в принципе нельзя решить, так как для этого необходимо знать результат целенаправленного перемещения наблюдателя в пространстве. Ставя такую задачу, мы должны рассматривать всю видимую картину поля зрения в некоторый исходный момент как «ожидаемое», а в следующий момент, когда в результате нашего движения картина изменится, как «ощущаемое». Для оценки надежности зрения необходимо, чтобы в состав ощущаемого вошли не только зрительные, но и, например, тактильные сигналы (контроль прикосновением).

¹ Эти условия для зрения таковы: трехмерное пространство, освещенное и богатое контрастами, а позднее содержащее неподвижные и движущиеся предметы. В тех случаях, когда какое-либо из условий не выполняется, зрительный аппарат не развивается нормально, причем отсутствие необходимых условий в первый период жизни оказывает необратимое отрицательное влияние на зрение. Например, при резко пониженной прозрачности хрусталика (врожденная катаракта) к сетчатке проходит лишь рассеянный свет — четких изображений не получается. Если отложить операцию надолго, хорошего зрения не будет никогда.

Потребности ребенка, заданные дифференцированной врожденной структурой его организма, олицетворяют собой ожидаемое. Приток воздуха, пищи, света — источники ощущаемого. Для того чтобы первый период развития шел нормально, необходимо возможно более полное совпадение ощущаемого с ожидаемым. Расхождение между ожидаемым и ощущаемым служит в это время безусловным возбудителем единственного действия, которым ребенок может влиять на среду, — крика.

Главное здесь то, что цикл потребность — удовлетворение есть не цель, а средство развития. Мозг и тело новорожденного построены из белков, жиров и углеводов, циркулировавших в крови матери, но все эти вещества представляют собой не аморфную массу, а сложнейший организм. Точно так же пища, воздух и свет, которых требует новорожденный, идут не на «пополнение массы», а на дальнейшую реализацию генетического плана построения все более тонких и сложных структур. В развивающихся структурах формируются новые, все более сложные уровни ожидаемого (иначе говоря, растет разнообразие и сложность потребностей). Ожидаемое опережает ощущаемое, но лишь на одну ступень; не получив подкрепления, ожидаемое «замораживается», развитие приостанавливается. Но в естественных условиях этого не происходит.

Зрение человека имеет определенную врожденную основу, выработанную в ходе эволюции и запечатленную в строении глаз и мозга. С самого начала проявляется, в частности, врожденная связь зрения с органом равновесия (когда врач капает в ухо ребенка капли или вращается, стоя на месте и держа новорожденного в вытянутых руках, глаза ребенка совершают рефлекторные движения). Связь зрения с аппаратом перемещения тела в пространстве является древнейшей и осуществляется древнейшими отделами головного мозга. На нижних этажах мозга осуществляются и другие врожденные «простые» двигательные реакции глаз: изменение ширины зрачка при скачках освещенности, поворот глаза к сильному (яркому, движущемуся, мелькающему) раздражителю; здесь же движения обоих глаз постепенно согласуются между собой. Чем

позже развилась функция в процессе эволюции, тем больше времени требуется для того, чтобы эта функция проявилась у новорожденного: сначала — движения глаз в зависимости от позы; потом — от самых основных свойств адекватного раздражителя (света), от его количества и направления, от контраста и движения раздражителя относительно фона; наконец — от движения раздражителя в глубину (конвергенция).

Постепенное упорядочение и согласование движений глаз объективно отражает развитие зрения ребенка. (Вызывая рефлекторные движения глаз, удастся измерить объективно даже остроту зрения: у двухнедельного ребенка она примерно в 50 раз ниже, чем у взрослого, к шести месяцам — всего в 10 раз, к году — в 5, а к трем годам примерно в 2 раза ниже, чем у взрослого). Врожденная основа зрения, по-видимому, содержит как минимум способность к различению количества и направления света, а также механизм контрастной чувствительности. В естественных условиях эти механизмы стремительно развиваются. Уже в трехмесячном возрасте ребенок прослеживает глазами движущийся раздражитель, меньше задерживает взгляд на предметах, которые ему показывают часто; судя по этим признакам, а также по наличию двигательной реакции на приближение и удаление ярких предметов, трехмесячный ребенок способен отличать одни предметы от других, воспринимать пространственное положение и перемещение предметов.

К шести месяцам способность ребенка к правильной зрительной ориентации в окружающем его пространстве (радиусом около трех метров) становится несомненной даже для неспециалиста. Ребенок, судя по его реакции, уже четко делит все находящиеся в его поле зрения объекты на четыре категории: приятные, неприятные, безразличные и незнакомые. Налицо несомненная способность к зрительному опознанию как классификации внешних предметов по их значению для маленького наблюдателя.

Ребенок как пассивный наблюдатель — это, конечно, чепуха (нередко, впрочем, еще повторяемая). С момента рождения ребенок взаимодействует с окружающим миром.

Все сказанное выше относится к ребенку, не сделавшему еще ни одного шага. Значит ли это, что шести-семимесячный карапуз уже способен правильно воспринять сложные признаки предметов — форму, размер, удаленность, движение — и что эти признаки столь же инвариантны для него, как и для его родителей, то есть он видит квадрат как квадрат, под каким бы углом ни смотрел на него; видит, что кошка меньше собаки, даже если кошка рядом, а собака вдали; видит, что движется мать, приближаясь к нему, а не сам он приближается к ней, и так далее?

Проблема соотношения врожденного и приобретенного в структуре поведения вообще и зрения в особенности всегда была жгуче интересной для натуралистов. Вот уже полтора столетия она стоит в центре внимания физиологов. Для нас, изучающих подоплеку очевидного — механику зрения, его надежность, — проблема индивидуального развития зрения, проблема основ и путей формирования зрительного опыта является одной из важнейших.

Мы не станем углубляться в историю вопроса и перечислять сотни знаменитых в естествознании имен, имеющих прямое отношение к разработке проблемы. Назовем лишь те теории и имена, без упоминания которых говорить об этой проблеме невозможно.

Учение о врожденной специализации органов чувств и об изначальном соответствии между строением глаз и поведением животных основано Иоганнесом Мюллером (1801—1858). Ныне освобожденное от идеалистической «данности специфической энергии» органов чувств, связанное с теорией эволюции, это учение сохранило ценность.

Теория индивидуального обучения восприятию на основе «бессознательных умозаключений», устанавливающих правильные связи между изображением на сетчатке и объективными свойствами внешних предметов, разработана Германом Гельмгольцем (1821—1894). Самые современные теории нейрофизиологии и биокibernетики не могут обойтись без понятия «сенсорный код», а это точный аналог знаковой теории Гельмгольца. Общий механизм своих знаменитых условных рефлексов И. П. Павлов отождествил с «бес-

сознательными заключениями гениального Гельмгольца».

Общая рефлекторная теория поведения человека, связавшая в одну замкнутую цепочку внешний стимул, ответное действие, мысль и волю, заложена И. М. Сеченовым (1829—1905). Эта теория предвосхитила самые передовые идеи сегодняшней (а быть может, и завтрашней) биокibernетики и психологии.

На этих трех «китах» держалась проблема в океане научного естествознания, одним из главных открывателей которого по праву считается основной автор эволюционной теории — Чарлз Дарвин. Век XIX — даже если бы он был отмечен только этими открытиями — остался гигантской вехой на пути развития науки.

Но, как это почти всегда бывает при оригинальной разработке очень сложной проблемы, каждый из трех названных выше «китов» собрал свою «конструкцию поведения и зрительного восприятия» главным образом на однородных фактах — некоторые важные детали оказались «лишними». (С таким этапом в развитии научной теории мы с вами уже познакомились на собственном опыте.)

Камнем преткновения для сторонников врожденной природы зрительного восприятия оказалась способность индивида вновь приобретать правильную зрительную ориентацию в пространстве, «переучивать» свое зрение, если восприятие входило в противоречие с опытом деятельности. Например, если человек надевает очки, меняющие местами «правое» и «левое» или «верх» и «низ», то в первые часы и дни он будет ошибаться в своих движениях, но постепенно все реже. То же самое происходит, если такие призмь закрепить на голове животного. Значит, только опыт?

Столь же сильным аргументом против чисто приобретенной природы зрительного восприятия служат иллюзии (геометрические, иррадиационные и другие; в опытах 34, 35, 38 вы познакомились с ними). Эти иллюзии свойственны всем людям и многим животным (см., например, у Тинбергена)¹. Опыт не помогает преодолеть эти иллюзии.

¹ Н. Тинберген, Поведение животных, Изд-во «Мир», 1969.

Наше время внесло свой вклад в решение проблемы благодаря главным образом развитию эволюционной биологии, в частности учения о наследственности (генетика), стремительному сближению экспериментальной психологии с физиологией и обширной разработке науки о саморегуляции в живых организмах (биокибернетика).

Соединить «несовместимые» концепции о врожденной и приобретенной природе зрительного восприятия оказалось возможным на основании нового центрального факта — незрелости мозга и органов чувств новорожденного, понимаемой как необходимое условие развития сложных форм поведения и восприятия. При появлении животного на свет его аппараты восприятия и движения развиты тем меньше, чем выше видовая организация животного, чем более сложным может стать его поведение во взрослом состоянии. Станет ли? Ответ зависит от двух факторов: внешних условий, в которых пойдет развитие (факторы среды), и заложенных от рождения индивидуальных особенностей реакции на эти условия (механизмы и норма реакции).

Чем богаче сфера деятельности взрослых представителей вида, тем беспомощнее детеныш. Наименее зрелым является при рождении мозг человека. Наименее зрелым, но наиболее пластичным, наиболее богатым по своим возможностям. Эти возможности в полной мере реализуются, только если ребенок развивается в человеческой среде, стимулирующей их проявление. Но этот процесс отнюдь не равнозначен полному приспособлению к среде, копированию среды. Пластичность мозга — не пластичность воска: вторая пассивна, первая активна. Смысл пластичного развития состоит в том, что благодаря огромному разнообразию заложенных механизмов восприятия и поведения организм развивается, не столько отступая перед отдельными собственными дефектами и трудностями внешнего характера, сколько преодолевая или обходя их.

Ответ на вопрос о правильности зрительного восприятия ребенка формулируется так: ребенок, как и взрослый, правильно ориентируется в пределах своего естественного взаимодействия с внешним миром. Переход от зрительной ориентации ребенка к зрительной

ориентации взрослого человека — многоступенчатый процесс, связанный не только (и не столько) с увеличением радиуса взаимодействия с внешним миром, но, главное, с изменением способов взаимодействия, а также с увеличением их числа. В этом процессе ведущая роль принадлежит взаимодействию зрения и движения.

Для того чтобы стало яснее, как оно происходит, возьмем одну из самых обычных в повседневности задач — оценку расстояния до предмета. (В психологии ее принято называть задачей на восприятие абсолютной удаленности, то есть удаленности предмета от наблюдателя, в отличие от восприятия относительной удаленности, то есть разницы расстояний до двух или более предметов.) Вы уже знаете — для решения этой задачи необходимо, чтобы предмет был опознан, в частности чтобы был известен истинный размер предмета.

Исследуя способность человека к оценке расстояний в пространстве, мы не продвинемся ни шагу, пока не поймем совершенно четко, что под истинным расстоянием, так же как под истинным размером, подразумевается не искусственная, а естественная мера — не метр, километр, миля, верста, а пядь, локоть, фут (стопа), шаг и тому подобное. Истинный размер имеет не объективные, а субъективные эталоны, когда речь идет о восприятии пространства¹. Основным эталоном является собственное тело наблюдателя — размеры его и параметры его движений, ощущаемые наблюдателем, — то есть физическое Я наблюдателя. Этот сложный комплекс ощущений начинает формироваться очень рано, и с самого начала в него органично входят зрительная и двигательная составляющие: рассматривание собственных кулачков, хватание всех

¹ Наша привычка понимать под истинным размером именно объективные величины объясняется необходимостью общения между индивидами, локти, стопы и шаги которых имеют сходные, но разные параметры. Повышение точности объективных мер следовало за развитием техники и средств связи между людьми. Несомненно, в языке исчезают «естественные меры», но до сих пор человечество пользуется несколькими разными системами объективных мер, даже в названиях не связанных с человеческим телом и движением (а это и вовсе бессмыслица).

видимых достигаемых и недостижимых предметов, изучение движущихся частей собственного тела; все это лишь начало формирования комплекса¹. Кроме того, на периферию поля зрения движущегося человека всегда проецируются части собственного тела, одежда, предметы, которые человек несет в руках. Впечатления связи между окружающим пространством и собственным телом наблюдателя чрезвычайно разнообразны и очень прочны, и притом они формируются автоматически, естественно, во всех случаях, когда человек находится в привычной обстановке (точнее, если он воспринимает обстановку как привычную).

Осознает человек только задачу действия и его результат, а превращение зрительной и двигательной информации в исполнительные команды, то есть суть работы физического Я, остается, как правило, неосознанной. (Любопытно, что в тех случаях, когда сознание вмешивается в автоматический процесс выполнения движения, они становятся неловкими, а результаты действий заметно ухудшаются.) Начиная с периода подвижных детских игр, сложность физического Я стремительно увеличивается. В этих играх есть все элементы и сочетания движений, в принципе используемые человеком для самостоятельного перемещения в пространстве. Содержание ожидаемого непрерывно обогащается и одновременно растет надежность ориентации. По мере того как выполнение очередной задачи становится безошибочным, задача все меньше осознается как таковая. В результате даже такой сложный процесс, как одевание и шнуровка ботинок, выполняется десятилетним ребенком не только без особых раздумий, но буквально не глядя.

Примерно к пятнадцати-шестнадцати годам окончательно формируется основное ядро физического Я. Именно это ядро служит нулевой точкой трехмерной системы координат зрительного поля.

¹ Комплекс ощущений, связывающий воедино центростремительные сигналы, идущие в мозг от органов равновесия (внутреннее ухо, опорный аппарат), органов зрения и движения, удобно представлять себе как некое компактное ядро. Но дело не только в удобстве. Хоть мы и не можем «ткнуть пальцем» в то место на анатомическом атласе мозга, где находится это ядро, оно существует и опирается на связи между конкретными структурами мозга. Конечно, оно не имеет ничего общего с вполне эфемерным представлением о «комплексе ощущений» как подобии «души».

Нам придется выделить два класса задач на оценку расстояния — в зависимости от того, как эта оценка проверяется, то есть от способа выполнения движений.

1. *Прогноз пути до объекта.* Предположим, турист вышел на опушку леса. Перед ним луг. Вдали силуэт семафора. Нужно попасть на поезд, который отправляется через 22 минуты. Успеет ли он к поезду?

Если бы это была задача по курсу физики, мы должны были бы знать расстояние, которое отделяет туриста от станции, и среднюю скорость движения туриста. Второе приблизительно известно: турист знает из прошлого опыта, что в течение 22 минут может двигаться со средней скоростью 9 километров в час. Но вместо расстояния даны: видимый размер семафора, воздушная перспектива, линейная перспектива (бедная, потому что перед наблюдателем ровный луг).

Прежде всего, задача не имеет решения, если туристу неизвестен истинный размер семафора, иначе говоря, если он никогда не бывал вблизи семафора. Будем считать, что это туристу известно. И все же, если расстояние близко к предельному, то есть в данном случае составляет 3—3,5 километра, турист не решит задачи, стоя на месте, а сумеет сделать лишь более или менее верную приблизительную оценку. А в движении он решит задачу задолго до того, как окажется рядом с семафором, подсознательно сопоставив время, затраченное им на первый отрезок пути, скорость своего движения и изменение видимого размера семафора. Эти три величины связаны в подсознании человека столь же прочно, как объективные меры пути, скорости и времени связаны в прекрасной известной вам формуле

$$S = vt.$$

Более того, судя по поведению туриста: задолго до станции он либо ускорит, либо замедлит шаг, а то и вовсе махнет рукой и приляжет на травку, — человеческий мозг прекрасно умеет дифференцировать свою формулу пути и производить экстраполяцию (хотя сам турист, обладатель мозга, узнав об этом, будет удивлен не меньше, чем мольеровский мещанин, не подозревавший, что всю жизнь говорил прозой).

2. *Прогноз усилия.* Зрительная оценка расстояний совершается и при выполнении задач, совсем не похожих на предыдущую. Вот стоит мальчишка и, глядя на кошку, сидящую на заборе, медленно отводит назад и поднимает руку, в которой довольно увесистый камень. Будем надеяться, что он промахнется, — это вполне возможно. Но не исключено, что бросок достигнет цели. Несмотря на несолидную форму, и эта задача прекрасно знакома вам из курса физики. Только на этот раз соответствующая формула связывает силу с массой и ускорением. Скверный мальчик, конечно, этой формулы не знает. А вы знаете. Тем не менее у него бросок получится во всяком случае не менее метким, чем у вас.

Заметьте — исходные зрительные данные для этой задачи те же, что и при оценке пути: видимый размер объекта, перспектива. Но постепенного изменения этих данных нет. И все же, сопоставив их с весом камня, мозг способен моментально вычислить усилие, необходимое для выбора правильной траектории полета камня.

Задачи, требующие зрительной оценки пути и (или) предстоящего усилия, встречаются и в гораздо более сложной форме. Возьмем, например, следующую задачу. Как выбежать или прыгнуть вратарю, чтобы перехватить мяч, который, вероятно, будет послан одним из нескольких приближающихся игроков? Сложность задач такого смешанного рода не только в том, что они включают элементы задач обоих предыдущих классов одновременно, но и в резком повышении требований к точности движений при оценке пути, траектории и усилия, а также в изменении типа оценок: вместо линейного программирования (когда меняется только расстояние) мозг переключается на динамическое программирование, прогнозируя вероятную траекторию нелинейно движущегося объекта.

Все эти простые, сложные и сложнейшие математические операции осуществляются в мозге принципиально без участия сознания. Это математика, созданная природой без участия человеческой мысли, математика целенаправленного движения животных. Поэтому неудивительно, что, хотя мы брали примеры зрительных задач, решаемых человеком, все задачи

такого рода гораздо лучше решают дикie животные, жизнь и смерть которых постоянно зависят от зрительной ориентации движения.

Как ни странно, подлинные обманы зрения, например иллюзии, с которыми вы знакомились в опыте 34, являются, по-видимому, неизбежным побочным следствием одной из самых важных особенностей высокоорганизованного зрения: «связывания» всех видимых в поле зрения объектов в одну биологически значимую координированную картину, в которой подчеркиваются светлые (свободные) промежутки (проходы), выделяются контрастные границы (ориентирь) — вертикальные особенно, — акцентируются разреженности и скопления, все неравномерности, всякие различия. Образуя говоря, недостатки высокоорганизованного зрения являются продолжением его достоинств. Конечно, далеко не все известные иллюзии четко укладываются в эту трактовку, но другого объяснения вообще подыскать не удастся. В пользу высказанного предположения говорят факты о действенности ряда геометрических иллюзий на животных.

«Лаборатория», которой пользуются человек и животные для прогнозирования оптимальной траектории движения и для динамического анализа этой траектории в процессе выполнения движения по ней, имеет всего пять приборов: органы равновесия, зрение, обоняние, слух и кожно-мышечная чувствительность. Эти приборы (за исключением, может быть, последнего) развиты у человека несравненно слабее, чем у большинства его «младших братьев». Зрение не представляет собой исключения.

Общезвестно, например, что острота зрения крупных хищных птиц примерно в три раза выше, чем у человека. Африканские грифы с высоты 3—4 тысячи метров обнаруживают мертвую косулю, замаскированную к тому же растительностью, а человек, стоя рядом с косулей, не разглядит птицу, размах крыльев которой достигает трех метров. У коршунов, ястребов, соколов зрение также много лучше человеческого, но и у тех, на кого они охотятся, тоже. Поэтому опытные соколятники брали с собой на охоту специального наблюдателя — птицу сорбкопуга. Спустя много минут после того, как охотники совершенно теряли из виду ушед-

шего в погоню сокола, они все еще точно знали, где находится сокол — по безошибочно устремленной в небо головке сорокопута.

О свойственной хищникам ловкости и точности движений, направляемых зрением, говорить не приходится. То, чего лишь немногим людям иногда удается достичь, для зверей является, так сказать, средней нормой. Я приведу один малоизвестный, но чрезвычайно красочный пример. Есть такая рыбка-стрелок (*Toxotes jaculator*). Плывая под поверхностью воды, она выплевывает вверх струйку воды с такой силой и меткостью, что сшибает на воду насекомое, летящее в метре над поверхностью (а затем, конечно, съедает его). Куда до нее мальчишке с камнем!

И все же есть люди, которые могут решать любые задачи выбора оптимальной траектории движения несравненно лучше, чем это делают самые ловкие животные. Думаете, спортсмены? Ничего подобного, математики. Траектория корабля, достигшего планеты Венера, или даже простая математическая программа перехвата вражеских самолетов-снарядов или ракет оставляет далеко позади достижения всех хвостатых и бесхвостых чемпионов охоты и спорта, распоряжающихся собственным телом и зрением, увы, гораздо лучше слабосильных математиков. Эта довольно примитивная шутка позволяет нам, однако, перейти к весьма сложному и серьезному вопросу о собственно человеческих особенностях зрительного восприятия.

Главное в человеческом зрении то, что весь ход его индивидуального развития и похож и не похож на тот же процесс у животных. Содержание очевидного всегда определяется не только тем, что зрение привносит в мозг, но и тем, что мозг привносит в зрение. Лаборатория, оснащенная пятью замечательными приборами — органами чувств, — синтезирует всю центростремительную информацию в единый продукт — образ внешнего предмета. Это общее у человека и животных; очевидными являются все известные, используемые на практике — прикладные — свойства предмета.

Мозгу высших животных не дано лишь одной способности: узнавать свойства внешних предметов, полностью «отвлеченные» от прикладного значения этих предметов. А человеку, — опять-таки в силу особого

устройства его мозга, — дана такая способность. Она становится реальностью, если среда вовремя потребует этого и особенно замечательно, что в дальнейшем после определенной тренировки выработка этих «бесполезных» представлений, приобретающих силу очевидности, становится у человека потребностью.

Чтобы сказанное стало вполне ясным, по-видимому, необходим пример. Вернемся к нашему туристу, который торопился к поезду. Предположим, он пришел вовремя, но не уехал: заинтересовался тем, что сквозь поездные составы, идущие без остановки через маленькую станцию, видна березка, стоящая по другую сторону полотна, — но иногда непрерывно, как будто поезд прозрачный, а иногда — с равномерными интервалами. Турист прекрасно понимает, что сквозь вагон увидеть ничего нельзя. Значит, видно сквозь промежутки между вагонами. Они во всех поездах одинаковы (будем считать, что все измерения туриста верны). Длина вагонов тоже одинакова. Различна скорость. Иначе говоря, дело в том, как часто сменяется один промежуток другим на линии взгляда. Турист это проверил. Скорость поездов он менять не мог. Но, пятясь от путей, нашел, что предположение его было правильным: расстояние до поезда стало больше и теперь березка видна даже «сквозь» медленные поезда, так как в одну секунду через угол его зрения проходило большее число промежутков между вагонами. Минимально необходимое их число оставалось неизменным: березка была видна непрерывно только в том случае, когда через линию, соединяющую глаз туриста и ствол березки, проходило в секунду не менее трех промежутков между вагонами.

Теперь оставим на время нашего туриста и займемся милейшим четвероногим обитателем этой станции — собачкой по имени Лада, уже четыре года живущей при здешнем стрелочнике (его имя нам ни к чему). Лада издавна в прекрасных отношениях с одним из кондукторов пассажирских поездных бригад. Поезда дальнего следования на этой станции, как вы знаете, не останавливаются, но кондуктор никогда не проезжает мимо, не послав Ладе по воздуху аппетитного вещественного доказательства своей дружбы. А ездит он часто, но нерегулярно, — бывает что и на поездах,

идуших вне всякого расписания. Что ж, неужели встречать каждый проходящий поезд? Их ведь сотни... Ничего подобного — Лада только шевельнет ухом, когда вдали послышится шум товарного состава или обыкновенной электрички. Но к поезду дальнего следования — безразлично, идет он по расписанию или нет — она выходит аккуратнейшим образом. Пустой номер? Ну, что ж. Закрученный кончик хвоста чуть качнется вправо-влево, и домой. Но, если покажется на площадке знакомая фигура и мелькнет в воздухе перевязанный шпагатом коричневый пакет, Лада, вся насторожившаяся при виде открытой двери, подпрыгнет, залает и помчится за поездом, высоко взлетая в воздух, чтобы подольше не терять из виду друга, и лишь потом деловито побежит к лежащему на земле пакету.

В обоих только что описанных случаях мы встретились с весьма сложным поведением. Здесь были сформированы представления об объективных свойствах предметов. Турист нашел объективную количественную характеристику одного из основных свойств человеческого зрения — его инерции (помните опыт 19?). Собака Лада выделила объективную звуковую характеристику приближения пассажирских экспресов. В этом сходство работы мозга человека и животного при выработке ориентации во внешнем мире. (То, что в наших примерах были использованы разные органы чувств, — несущественно.)

Принципиальное различие заключается в том, что для человека объективная характеристика явления была основным предметом изучения. Получив результат, он знал, что знает его. У собаки исследование действительности было полностью подчинено другим задачам (встрече с другом и получению пищи). Правильно решив эти задачи, Лада тем не менее не знает о том, что ей известна именно объективная характеристика — для ее мозга этой категории не существует (хоть она и воспитывалась в человеческой среде).

Этот пример имеет выход в чисто человеческое, притом индивидуальное содержание очевидности. Ко многому, что для нас привычно, очевидно, мы так же слепы — в познавательном смысле, — как Лада ко всему объективному. Очевидное, как правило, безразлично для нас. Это неизбежное следствие приспособ-

ления к среде в период развития. Но мы способны преодолеть среду только в том случае, если ставим, будучи уже зрелыми, очевидное под вопрос.

Для каждого, кто видел березку, мелькающую за проходящим поездом, было очевидно, что она видна только в те моменты, когда на линии взгляда оказывается промежуток между вагонами. Но согласитесь, что ни гипотеза, выдвинутая нашим туристом, ни простое решение, найденное им, не были бы очевидными для каждого из вас.

Может быть, в этом сыграло роль то, что березка показалась туристу красивой? Ведь роль эстетики в лечении «слепоты очевидного» огромна. Возможно. Надо иногда смотреть на мир так, словно видишь его в первый или в последний раз. Но, как говорят хорошие сказочники, это уже совсем другая история.

Во всяком случае, мы недаром взяли в кавычки слово «отвлеченный», определяя специфически человеческие особенности зрения. Познание видимого мира и механики его восприятия человеком и животными никогда не бывает полностью отвлеченным от практики. Не исключено, что чем дальше кажется полученное знание от конкретных возможностей его приложения, тем больше его потенциальная ценность.

Примеры общеизвестны: астрономия, теория относительности, булева алгебра... Очень возможно, что к этим примерам придется вскоре прибавить и общую теорию восприятия. Единственное, что мешает утверждать это с уверенностью, — такая теория еще не создана. Возможно, что она ждет именно вашего труда, читатель.

39 опытов, умело отобранных Джеймсом Греггом из огромного фонда физиологической оптики и психофизиологии зрения, как бы очерчивают пунктиром круг классических интересов этих наук. Но «классический круг» — звучит неоправданно законченно, мертво. Наука о зрении классична только по своей методологии. По перспективам же это одна из самых живых и молодых наук. Поэтому автор послесловия, как и автор книги, посвящает свою работу читателю — начинающему исследователю.

А. Коган

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Ауэрбах Ш., Генетика, Атомиздат, 1968*.
Бернштейн Н. А., Очерки по физиологии движений и физиологии активности, изд-во «Медицина», 1966.
Бонгард М. М., Проблема узнавания, изд-во «Наука», 1967.
Бызов А. Л., Электрофизиологические исследования сетчатки, изд-во «Наука», 1966.
Вавилов С. И., Глаз и Солнце, изд-во АН СССР, 1950*.
Винчестер А., Основы современной биологии, изд-во «Мир», 1967*.
Гельмгольц Г., О зрении, СПб, 1896*.
Глезер В. Д., Механизмы опознавания зрительных образов, изд-во «Наука», 1968.
Гробстайн К., Стратегия жизни, изд-во «Мир», 1968*.
Ландсберг Г. С., Элементарный учебник физики, т. III, изд-во «Наука», 1966.
Кравков С. В., Глаз и его работа, изд-во АН СССР, 1950.
Мазохин-Поршняков Г. А., Зрение насекомых, изд-во «Наука», 1965.
Миннарт М., Свет и цвет в природе, Физматгиз, 1958*.
Проссер Л., Браун Ф., Сравнительная физиология животных, изд-во «Мир», 1967.
Сеченов И. М., Избранные философские и психологические произведения, ОГИЗ, 1947.
Тинберген Н., Поведение животных, изд-во «Мир», 1969*.
Харрисон Дж., Уайнер Дж., Таннер Дж., Барни-кот Н., Биология человека, изд-во «Мир», 1968.
Ф. Энгельс. Диалектика природы, Госполитиздат, 1955.

* Звездочками помечены популярные издания.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
-----------------------	---

ЧАСТЬ I. Введение

Кое-что о свете	7
Материалы и оборудование для опытов	11
Строение глаза	13
Оценка результатов опытов	20

ЧАСТЬ II. Опыты

Опыт 1. Отражение света	24
Опыт 2. Отражение света глазом человека	26
Опыт 3. Преломление света	29
Опыт 4. Преломление света в глазу человека	32
Опыт 5. Диафрагмы	36
Опыт 6. Живая диафрагма — зрачок	38
Опыт 7. Дисперсия света (хроматическая дисперсия)	41
Опыт 8. Хроматическая аберрация оптической системы глаза	43
Опыт 9. Аккомодация глаза	45
Опыт 10. Перевернутое изображение на сетчатке глаза	46
Опыт 11. Энтеоптические феномены	48
Опыт 12. Кровеносные сосуды сетчатки	50
Опыт 13. Поле зрения	52
Опыт 14. Слепое пятно	54
Опыт 15. Острота зрения	56
Опыт 16. Адаптация к темноте	59
Опыт 17. Смена цветов	62
Опыт 18. Послеобразы	64
Опыт 19. Инерция зрения	67
Опыт 20. Одновременный контраст	69
Опыт 21. Последействие фигур	74
Опыт 22. Движения глаз	77
Опыт 23. Ведущий глаз	80
Опыт 24. Мышечное равновесие глаз	82
Опыт 25. Конвергенция глаз	84

Опыт 26. Физиологическое двоение	85
Опыт 27. Бинокулярная проекция	88
Опыт 28. Бинокулярное зрение	91
Опыт 29. Стереоскопическая глубина	96
Опыт 30. Восприятие глубины	99
Опыт 31. Стереофеномен Пульфриха	100
Опыт 32. Куб-перевертыш	102
Опыт 33. Восприятие видимого размера	104
Опыт 34. Зрительные иллюзии	107
Опыт 35. Эффекты движения	114
Опыт 36. Смещение цветов вычитанием	118
Опыт 37. Смещение цветов сложением	121
Опыт 38. Иллюзорный цвет	125
Опыт 39. «Опарт»	126

ПОСЛЕСЛОВИЕ. Подоплека очевидного

Рекомендуемая литература	197
------------------------------------	-----

Дж. Грегг
ОПЫТЫ СО ЗРЕНИЕМ

Редактор *Т. Шилейко*
Художник *Н. Мануйлова*
Художественный редактор *Ю. Максимов*
Технический редактор *И. Дерва*

Сдано в производство 18/VIII-1969 г.
Подписано к печати 21/X-1969 г.
Бумага тип. № 2. Формат $84 \times 108^{1/2} = 3,13$ бум. л.,
10,50 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 9,54. Изд. № 12/5303.
Цена 45 к. Зак. 364.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Главполиграфпром Комитета по печати при
Совете Министров СССР. Отпечатано в Ленин-
градской типографии № 2 имени Евгения Со-
коловой, Измайловский проспект, 29 с матриц
Чеховского полиграфкомбината, г. Чехов,
Московской области.

45к.