

**R. L. Gregory**

# **THE INTELLIGENT EYE**

Wiedenfeld and Nicolson  
London, 1970

**Р. Л. Грегори**

# **РАЗУМНЫЙ ГЛАЗ**

Перевод с английского  
*А. И. Когана*

Издание второе

**Москва · 2003**

**УРСС**

## Оглавление

**Грегори Ричард Лэнгтон**

**Разумный глаз:** Пер с англ. Изд. 2-е. — М.: Едиториал УРСС, 2003. 240с., цв. вкл.

ISBN 5-354-00342-3

Автор книги -- профессор бионики Эдинбургского университета, один из крупнейших в мире специалистов по психологии зрения. Отвечая на вопрос, «каким образом мозг извлекает сведения о внешнем мире из некоторого узора пятен света на сетчатке глаза», Р.Л.Грегори компетентно и увлекательно рассказывает о связях между важнейшими факторами восприятия, о сложнейшем многогранном процессе зрительного мышления.

Текст богато иллюстрирован рисунками, которые позволяют читателю самостоятельно проверить многие факты. Предмет освещается с различных, часто неожиданных сторон, и потому книга представляет интерес для широкого круга читателей и в особенности для тех, кто интересуется психологией, физиологией, искусствоведением, языкознанием, астрономией, техникой.

Издательство «Едиториал УРСС». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.  
Лицензия ИД №05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 19.03.2003 г.  
Формат 60x90/16. Тираж 5000 экз. Печ. л. 15. Зак. №  
Отпечатано в ООО «Арт-диал». 129110, г. Москва, ул. Б. Переяславская, 46.

От переводчика . . . . .	6
Предисловие к первому русскому изданию. . . . .	8
1. Предметы и изображения. . . . .	11
2. Странные свойства картин. . . . .	42
3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры . . . . .	49
4. Фигуры, содержащие искажения формы. . . . .	87
5. Масштабы вселенной. . . . .	116
6. Рисование на плоскости. . . . .	131
7. Рисование в трехмерном пространстве. . . . .	155
8. Картины, символы, мысль и язык. . . . .	169
9. Зримая суть вещей. . . . .	195
<b>Приложение 1.</b> Стереопроекция и рисование в трехмерном пространстве. . . . .	212
<b>Приложение 2.</b> Инструмент для усовершенствования изображений. . . . .	217
<b>Приложение 3.</b> Указания к выполнению некоторых из описанных в этой книге экспериментов . . . . .	223
Литература . . . . .	225
Дополнительный список литературы к русскому изданию. . . . .	232

## От переводчика

Заголовок книги, понятно, метафоричен: глаз служит разуму, но сам разумом не обладает. Однако научный термин «зрительное мышление» не воспринимается специалистами как метафора; дело в том, что нервный аппарат глаза — часть мозга в самом буквальном смысле. «Разумный глаз» видит мир как бы сквозь систему нервных процессов, непрерывно протекающих в мозгу. Физически мир доступных зрению предметов состоит из поверхностей, которые так или иначе выделяются из среды, например, имеют особую яркость, форму, цвет. Но для живого существа, обладающего высокоразвитым зрением, это мир предметов, состоящих из вещей приятных или страшных, теплых или холодных, съедобных или несъедобных на вид. Разумность глаза — до сих пор во многом загадочная для науки — в том и состоит, что зрение способно проникать в невидимую суть видимых вещей. Зрение человеческое иногда позволяет узнать не только биологически важные свойства предметов, а и такие их качества, которые вообще недоступны органам чувств, но известны разуму. Именно о том, как это происходит, написана книга, которую вам предстоит прочесть.

Несколько слов об авторе книги.

Ричард Лэнгтон Грегори — психолог, профессор бионики (науки о техническом применении биологических принципов и механизмов), ныне преподает в Эдинбургском университете (ранее работал в Кембриджском университете и преподавал в трех университетах США). Изобрел аппарат для рисования лучом света в трехмерном пространстве, фотокамеру для съемки астрономических объектов (эти изобретения описаны в книге). Помимо специальных работ, написал широко известную популярную книгу «Глаз и мозг», переведенную на многие языки (в 1970 году она вышла на русском языке в изд-ве «Прогресс»).

К счастью для читателей данной книги, интересы ее автора чрезвычайно разносторонни: психология, физиология, искусствоведение, языкознание, астрономия, техника — все привлекается

здесь для выработки синтетического взгляда на сущность зрительного мышления. Еще одно очень важное качество: автор, несомненно, относится к читателю с уважением — проблема излагается вполне доступно для неспециалиста и в то же время совершенно всерьез. Это качество тем ценнее, что встречается не так уж часто.

Рисунки играют в книге весьма значительную «инструментальную» роль: они служат тем наглядным материалом, который заменяет читателю-неспециалисту недоступный для него лабораторный эксперимент. Кроме того, ясный и точный подход автора к анализу зрительного опыта позволит заинтересованному читателю обратиться к собственному опыту повседневного зрительного восприятия и обнаружить, в частности, что нужно (и можно!) учиться видеть всю жизнь, открывая новое даже в самых привычных вещах.

Секрет того, что мы видим предметы там, где они есть, и такими, какие они есть, заключается в двух вещах: способности глаза сообщать мозгу о том, как вещи выглядят, и способности мозга обогащать зрительный образ сведениями, приобретенными в опыте (в том числе и с помощью других органов чувств). Глаз человека разумен еще и потому, что в «сиюминутном» опыте восприятия каждого из нас участвует опыт, накопленный предшествующими поколениями и переданный — в частности при помощи хорошей книги.

*А. Коган*

## Предисловие к первому русскому изданию

Появление этой книги в русском переводе вслед за моей предыдущей книгой «Глаз и мозг» -- чрезвычайно высокая честь для меня. Я очень благодарен профессору А. Р. Лурия, с которым имел удовольствие несколько раз встречаться раньше, за участие в издании первой книги и доктору А. И. Когану за перевод книги «Разумный глаз».

Мне доставляет большую радость мысль о том, что люди, живущие в Советском Союзе, разделяют со мной интерес к проблемам, которые я попытался рассмотреть в этой книге.

Все мы обладаем способностью воспринимать предметы и явления; все мы стремимся понять то, что видим. «Понимать» — значит видеть вещи определенным образом, но нельзя «видеть» не понимая. В английском языке слово «see — видеть» имеет два значения: зрительно воспринимать что-либо и понимать что-либо. Так, например, можно сказать: «I see my wife's hat — Я вижу шляпку, принадлежащую моей жене» и «I see my wife's problem — Я понимаю, как трудно приходится моей жене».

Удивительно, как часто в языке встречаются феномены, наводящие на мысль об аналогии между языком и мышлением. Правда, такие сравнения, как хорошо знают философы, бывают обманчивы. Но двоякое употребление слова «видеть» ведет нас не к обманчивой аналогии; напротив — здесь проявляется глубокая связь между восприятием и мышлением, поскольку видеть вещи и явления можно лишь в ходе процесса, аналогичного решению задач. Все «сенсорные факты» — ощущения — суть вопросы, задаваемые мозгу рецепторами, а все восприятия — ответы, иногда верные, иногда неверные.

В этой книге я предлагаю рассматривать (а это слово — «рассматривать» — тоже имеет двойственный смысл!) наши восприятия внешнего мира как гипотезы, по существу сходные с гипотезами

научными, но «формулируемые» вне языковой, математической или логической символики. Предполагается, что перцептивные<sup>1</sup> гипотезы возникли задолго до появления речи человека вообще, а именно с зарождением таких форм жизни, которые оказались способными к активному использованию внешней среды. В некотором смысле мы, возможно, видим мир как бы сквозь опыт восприятия древних биологических видов. Можно принять, что внешний мир в наше время во многом остался сходным с древним миром, поскольку древний опыт восприятия и поведения полезен и сегодня; но в то же время мир изменился радикально — это следует хотя бы из того, что человек создал такие «предметы», которые нельзя увидеть, и даже такие предметы, которые зрительно воспринимаются не такими, каковы они есть, а как нечто совершенно иное. В последнем случае речь идет о картинах. Картины не были известны ни одному из биологических видов, предшествовавших человеку; это — исключительно человеческое творение.

В картине отражены индивидуальные «перцептивные гипотезы» художника, и поэтому картина -- окно, через которое мы можем заглянуть в интимный мир художнического восприятия мира. Картина — чрезвычайно странный предмет; в одно и то же время это и обычный кусок бумаги или холста, покрытый красками, и нечто совсем иное — отображение предметов, существующих в ином пространстве и времени или даже вовсе не существующих. Картины пробуждают, тасуют и меняют наши представления, наши перцептивные гипотезы, с помощью которых мы видим и понимаем мир вещей и событий. Поэтому\* — при условии, что восприятие действительно сродни построению гипотез, — не удивительно, что искусство (которое столь сильно воздействует на эти гипотезы) во все времена оказывало немалое влияние на людей; недаром искусство всегда считалось близким волшебству. Но в этой книге я выдвигаю еще и другое предположение — о том, что по совсем иной линии искусство сродни науке.

\* Восприятие и перцепция — синонимы; раньше употреблялся еще термин «апперцепция» — активное восприятие, в отличие от «пассивной перцепции»; автор, однако, считает восприятие всегда активным процессом, связанным с построением гипотез о предметах и явлениях. Эта точка зрения, по-видимому, вполне обоснована. — *Прим. персе.*

В огромном фонде литературы по изобразительному искусству удивительно редко встречаются работы психологов и физиологов о значении искусства для науки. В поисках таких работ приходится возвращаться чуть ли не к периоду Возрождения; к сожалению, авторы того времени не имели в своем распоряжении необходимых фактов, поскольку экспериментальное исследование восприятия началось значительно позднее.

В психологических экспериментах повсеместно используются именно картины-изображения; это вряд ли правомерно, поскольку — если я прав — любая картина представляет собою перцептивный парадокс. Ведь всякий предмет является самим собой, и только картины имеют двойную природу, и потому они — единственный в своем роде класс парадоксальных объектов. Никто, кроме человека, не способен создавать (а может быть, и воспринимать) картины и любые другие символы. Именно сила, заложенная в символах, подняла мысль выше чисто биологических пределов, в которых зарождалось мышление; эта сила все еще до конца не познана.

Если верно, что появление картин-изображений привело к возникновению формальных символов языка и логики, то мы должны благодарить первых художников за то, что их творения дали начало науке. А теперь именно наука позволяет нам заглянуть в механику человеческого восприятия, в перцептивные механизмы, с помощью которых мы видим и понимаем друг друга.

Я уверен, что далеко не все будут согласны с моими выводами, но ведь единогласие гораздо менее важно, чем понимание реально существующих различий во взглядах. Спор вообще стимулирует развитие мысли, не говоря уж о том, что взгляды другого человека могут послужить для развития собственных воззрений. Я надеюсь, что мысли, которые я старался выразить и развить в этой книге, послужат исходной точкой для конструктивного спора, в ходе которого мы, все вместе, сумеем увидеть окружающий мир и самих себя более ясно, а затем, по мере углубления нашей способности видеть, полюбим то, что увидим.

^ — \* - \* S \*



## Предметы и изображения

Мы окружены предметами. Вся жизнь мы опознаем, классифицируем, оцениваем и используем предметы. Наши инструменты, жилища, оружие, пища — предметы. Почти все, что мы ценим, чем любимся, чего пугаемся, по чему скучаем, — предметы. Мы привыкли к тому, что предметы (объекты) видны повсюду, и поэтому, наверное, трудно представить себе, что способность нашего зрения видеть предметы все еще загадочна. Тем не менее это так.

В сущности, нашим органам чувств предметы доступны лишь в очень малой степени. Ведь ощущаются не предметы как таковые, а мимолетные зрительные формы, дуновения запахов, разбросанные тактильные формы, возникающие при легком контакте объекта с кожей руки, а иногда — болевые уколы, оставляющие при слишком тесном соприкосновении с предметом вещественный след — царапину. Нашим ощущениям непосредственно доступна лишь малая часть важных свойств объектов. Эти «важные свойства» суть свойства физические, благодаря которым вода сохраняет текучесть, а мосты — неподвижность; «внутреннее устройство» воды и моста спрятано от глаз. Если вдуматься, мы полагаемся главным образом как раз на такие свойства предметов, которые никогда не воздействовали на наши органы чувств непосредственно.

Некогда считалось, что поведение индивида определяется сенсорной информацией — той, которая непосредственно и сиюминутно доступна зрению и другим чувствам. Теперь мы знаем, что это не так; сенсорная информация недостаточно полна. Она не полна настолько, что совершенно правомерно ставился вопрос, пригодна ли она вообще для руководства поведением, содержит ли она то, что человеку нужно узнать о предмете, чтобы отнестись

к нему правильно, то есть чтобы решить задачу поведения по отношению к данному объекту. Трудность задачи несомненна, и мозг stalkивается с этой задачей постоянно.

Получая тончайшие намеки на природу окружающих объектов, мы опознаем эти объекты и действуем, но не столько в соответствии с тем, что непосредственно ощущаем, сколько в согласии с тем, *о чем мы догадываемся*. Человек кладет книгу не на «темно-коричневое пятно», он кладет ее на стол. Догадка преобразует темно-коричневое пятно, ощущаемое глазами, или твердый край, ощущаемый пальцами, в стол — нечто более значащее, чем любое пятно или край. Темно-коричневое пятно пропадает, когда мы отворачиваемся, но мы уверены, что стол и книга находятся по-прежнему там же, где были.

Епископ англиканской церкви Джордж Беркли (1684-1753) поставил под сомнение утверждение о том, что предметы продолжают существовать, когда человек их не ощущает, — «ибо как можно знать это?» Но чтобы не получилось так, что вещь ведет «прерывистый образ жизни», — по выражению Бертрана Рассела, — Беркли вводит Бога: предметы существуют постоянно, потому что Бог постоянно наблюдает за ними. И этот же довод Беркли использовал позднее как доказательство существования бога. Сомнения Беркли и вывод, к которому он пришел, удачно отражены в известном шуточном стихотворении Рональда Нокса, написанном в форме вопроса и ответа:

*Однажды ученый юнец  
Заметил: «Должно быть, Творец  
Был весьма удивлен,  
Обнаружив, что клен  
Все растет, хоть безлюден Дворец?»  
«О сэр! Удивленью — конец:  
Я всегда наблюдаю Дворец.  
Для того чтобы клен  
Рос исправно, зелен,  
Существует  
Ваш вечно  
Творец».*

И все же Беркли подводит нас к важной проблеме: *как мы узнаем* то, что нам не дано в ощущениях?

Оптические изображения, формирующиеся на сетчатке глаз (ретинальные изображения), представляют собой всего-навсего световые узоры, которые важны лишь постольку, поскольку могут быть использованы для узнавания *неоптических* свойств вещей. Изображение нельзя съесть, как не может есть и оно само; биологически изображения несущественны. Этого нельзя сказать о всей сенсорной информации вообще. Ведь чувства вкуса и прикосновения прямо передают биологически важную информацию: предмет твердый или горячий, съедобный или несъедобный. Эти чувства дают мозгу сведения, насущно необходимые для сохранения жизни; к тому же значимость такой информации не зависит от того, что представляет собой данный объект как целое. Эта информация важна и помимо опознания объектов. Возникает ли в руке ощущение ожога от пламени спички, от раскаленного утюга или от струи кипятка, разница невелика — рука отдергивается во всех случаях. Главное — ощущается жгучее тепло; именно это ощущение передается непосредственно, природа же объекта может быть установлена позднее. Реакции такого рода примитивны, субперцептивны; это реакции на физические условия, а не на сам объект. Опознание объекта и реагирование на его скрытые свойства появляются гораздо позже.

В процессе биологической эволюции первыми возникли, по видимому, чувства, обеспечивающие реакцию именно на такие физические условия, которые непосредственно необходимы для сохранения жизни. Осязание, вкус и восприятие изменения температуры должны были возникнуть раньше зрения, так как, чтобы воспринять зрительные образы, их нужно истолковать — только так они могут быть связаны с миром предметов. Необходимость истолкования требует наличия сложной нервной системы (своего рода «мыслителя»), поскольку поведение руководствуется скорее догадкой о том, что представляют собой объекты, чем прямой сенсорной информацией о них.

Возникает вопрос (похожий на знаменитую задачу: «Что было раньше — яйцо или курица?»): предшествовало ли появление глаза развитию мозга или наоборот? В самом деле — зачем нужен глаз,

если нет мозга, способного интерпретировать зрительную информацию? Но, с другой стороны, зачем нужен мозг, умеющий это делать, если нет глаз, способных питать мозг соответствующей информацией?

Не исключено, что развитие шло по пути преобразования примитивной нервной системы, реагирующей на прикосновение, в зрительную систему, обслуживающую примитивные глаза, поскольку кожный покров был чувствителен не только к прикосновению, но и к свету. Зрение развилось, вероятно, из реакции на движущиеся по поверхности кожи тени — сигнал близкой опасности. Лишь позднее, с возникновением оптической системы, способной формировать изображение в глазу, появилось опознание объектов. По-видимому, развитие зрения прошло несколько стадий: сначала концентрировались светочувствительные клетки, рассеянные до этого по поверхности кожи, затем образовались «глазные бокалы», дно которых было устлано светочувствительными клетками. Бокалы постепенно углублялись, вследствие чего возрастала контрастность теней, падающих на дно бокала, стенки которого все лучше защищали светочувствительное дно от косых лучей света. Хрусталик же, по-видимому, поначалу представлял собой просто прозрачное окно, которое защищало глазной бокал от засорения частицами, плавающими в морской воде — тогдашней постоянной среде обитания живых существ. Эти защитные окна постепенно утолщались в центре, поскольку это давало количественный положительный эффект — увеличивало интенсивность освещения светочувствительных клеток, а затем произошел качественный скачок -- центральное утолщение окна привело к возникновению изображения; так появился настоящий «образотворческий» глаз. Древняя нервная система — анализатор прикосновений — получила в свое распоряжение упорядоченный узор световых пятен.

Осязание может передавать сигналы о форме предмета двумя совершенно различными способами. Когда предмет находится в контакте с обширной поверхностью кожи, сигналы о форме предмета поступают в центральную нервную систему через множество кожных рецепторов одновременно по множеству параллельных нервных волокон. Но сигналы, характеризующие форму, могут передаваться и одним пальцем (или иным зондом), который иссле-

дует формы, передвигаясь по ним в течение некоторого времени. Движущийся зонд может передать сигналы не только о двумерных формах, с которыми он находится в непосредственном контакте, но и о трехмерных телах. Правда, для этого ему потребуется слишком много времени, да кроме того, если исследуемый объект — живое существо, зондирование тут же обнаружится, что нам хорошо известно из собственного опыта (вспомните ощущение щекотки).

Восприятие тактильных ощущений не опосредовано — это прямой способ исследования, и радиус его применения ограничен необходимостью тесного контакта. Но это значит, что если прикосновение опознает врага — выбирать тактику поведения некогда. Необходимо немедленное действие, которое именно поэтому не может быть ни утонченным, ни даже просто спланированным. Глаза же проникают в будущее, потому что сигнализируют об удаленных предметах. Очень вероятно, что мозг — каким мы его знаем — не мог бы развиваться без притока информации об удаленных объектах, информации, поставляемой другими органами чувств, особенно зрением. Как мы увидим далее, глаза нуждаются в разуме, чтобы опознать объекты и локализовать их в пространстве, но разумный мозг вряд ли мог бы возникнуть без глаз. Можно без преувеличения сказать, что глаза освободили нервную систему от тирании рефлексов, позволив перейти от реактивного к тактическому, планируемому поведению, а в конечном счете и к абстрактному мышлению. Зрительные представления и теперь еще властвуют над нами и влекут нас. Попробуем рассмотреть и понять мир видимых объектов, не ограничиваясь тем, как этот мир преподносится нам нашими органами чувств.

Философы, как правило, принимают к рассмотрению только ту информацию о мире, которую поставляют человеку его органы чувств. Иное дело физики — они оперируют данными, получаемыми с помощью приборов, регистрирующих и такие свойства окружающего мира, которые до изобретения этих приборов не были известны. Так, о радиоволнах и рентгеновских лучах всего столет назад вообще ничего не знали; их открытие изменило наше мировоззрение, хотя мы и не стали воспринимать эти волны и лучи непосредственно (сенсорно). С позиций эмпирической философии

это явный парадокс: наука пользуется данными тех «наблюдений», которые осуществляются самими приборами, при этом довольно трудно утверждать, что наши чувства являются единственными источниками прямого знания.

Поскольку восприятие состоит в том, что из сенсорных данных извлекаются сведения о не ощущаемых непосредственно характеристиках предметов, нет смысла настаивать, что воспринимаемые нами представления о предметах, то есть наши основные сведения о них, свободны от примеси абстракций. Мы не только верим тому, что видим, но до некоторой степени и видим то, во что верим.

Центральная проблема зрительного восприятия состоит в том, чтобы узнать, каким образом мозг перерабатывает узоры, лежащие на сетчатке, в представления о внешних предметах. «Узоры» в таком смысле чрезвычайно далеки от «предметов». Вместо слов «характерный, непохожий на другие узор» будем применять специальный термин — *паттерн*. Под этим словом здесь разумеется определенный набор условий, поданных на вход рецептора в пространстве и во времени. Но зрение воспринимает нечто гораздо более значительное, чем паттерн, — *предметы*, существующие во времени и пространстве.

Прежде всего попробуем разобраться в том, как предметы отличаются от того, что их окружает. Проблема станет яснее, если взглянуть на картинку, изображающую предмет, который нелегко отыскать. На рис. 1 изображена пятнистая собака, сфотографированная на таком же пятнистом фоне, — и отыскать собаку непросто. Помогают увидеть объект контуры, различия в фактуре и цвете, но границы предметов часто нерезкие, а различия в цвете обманчивы. Сходные трудности есть в усвоении речи и музыки. Слова слышны отдельно одно от другого, хотя физически они не разделены ничем; наоборот, физически произносимые слова сливаются в речи — аналогично тому, как наползают друг на друга изображения разных предметов на сетчатке глаза. Отдельные предметы как-то извлекаются из непрерывных паттернов, формирующихся в «приемнике» — рецепторе.

Хорошо известен зрительный феномен «чередование фигуры и фона». На рис. 2 изображено лицо — и в то же время нечто совсем иное. Восприятие здесь колеблется между двумя возможностями.



Рис. 1. Сфотографирован пятнистый пес; почти все полутона на фотографии утрачены (так бывает видно при лунном свете), и все же нетрудно отличить пятна на теле собаки от сходных пятен фона. Это возможно потому, что в мозгу содержится информация не только о форме собачьего тела, но и о многих тысячах иных вещей

Это важный факт. Он свидетельствует о том, что восприятие не выводится просто из паттернов возбуждения на сетчатке. Необходим еще какой-то тонкий процесс переработки (интерпретации) даже на таком элементарном уровне.



Рис. 2. Один из примеров зрительного «перевертывания картин»

Феномен чередования связан с именем датского психолога Эдгара Рубина. Он разработал простые, но остроумные штриховые рисунки, изображающие пару форм; взятая в отдельности, любая форма воспринимается как объект, но, поскольку обе формы разграничены одной и той же линией, происходит «соперничество» форм. Каждая из них поочередно «уходит» в фон, перестает восприниматься; в это время другая форма становится главенствующим объектом. Этот самопроизвольный цикл чередования фигур и фона весьма характерен для динамической природы процессов восприятия.

С феноменом чередования связано большое число более тонких эффектов. Когда в качестве объекта воспринимается часть рисунка, весь рисунок в целом выглядит совершенно иначе. О фигуре, показанной на рис. 3, Рубин писал:

*«Наблюдатель воспринимает попеременно то крест, исчерченный радиально, то крест, заполненный концентрическими дугами. Когда последний становится объектом (прежде объектом был радиальный крест), наблюдатель способен заметить, что концентрические дуги выглядят иначе, когда они были фоном, то казались непрерывными, словно бы продолжались под радиальным крестом, став объектом, они обрели четкую отграниченность концентрически заштрихованных секторов».*

Рубин прекрасно сознавал важность своих экспериментов-иллюстраций для проблемы зрительного восприятия объектов. Как ни странно, именно этот аспект его работы был недостаточно

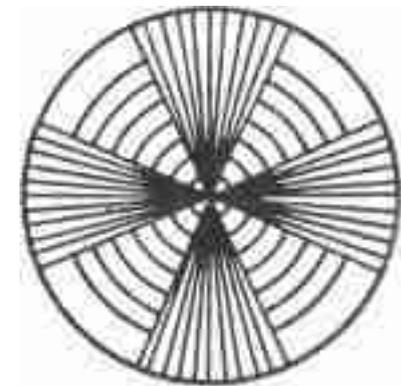


Рис. 3. Одна из фигур Рубина. При каждом цикле обращения «фигуры» в «фон» происходит воспринимаемое, но малозаметное субъективное «преобразование» той части рисунка, которая в данный момент оказывается «фигурой», в ту, что видна как «фон»

оценен более поздними исследователями. По этому поводу Рубин писал:

*«Когда происходит перевертывание фигуры и фона, наблюдатель видит, что область рисунка, на которую воздействует формообразующий контур, приобретает некую характеристику, родственную той, что позволяет нам называть вещи предметами... Даже когда фигура не выглядит похожей на какой-либо знакомый нам предмет, она все же имеет этот признак — предметность. Под предметностью мы понимаем некое свойство, общее для всех воспринимаемых объектов...»*

В этих словах содержится указание на путь, по которому стоит пойти, чтобы отыскать признаки, руководствуясь которыми мозг решает, что такое объект, а что — пространство между объектами. Этот путь все еще не пройден до конца.

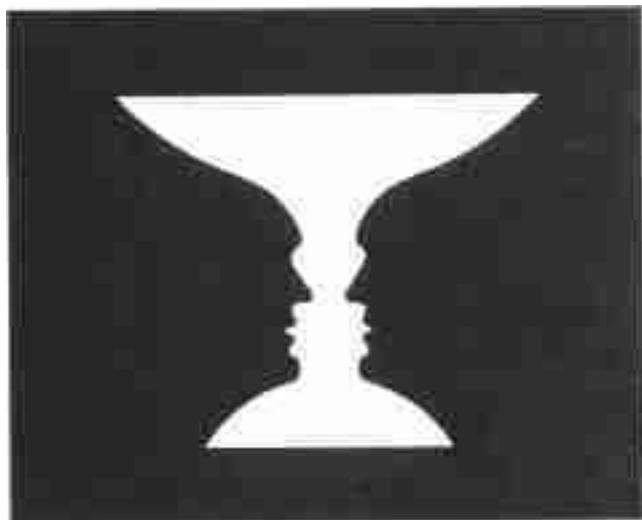
Наиболее замечателен рис. 4. Здесь поочередно видны то ваза, то два обращенных друг к другу профиля; в последнем случае «ваза» пропадает и превращается в пространство. Наблюдая, как ваза постепенно «тает» и вместо нее возникают два лица, мы испытываем странное, несколько даже пугающее чувство. Рубин говорит об этом рисунке:

*«Читатель имеет возможность убедиться не только в том, что фон воспринимается как нечто, не имеющее формы,*

*но и в том, что смысл, вкладываемый нашим восприятием в часть видимого пространства, выступающего как объект, „пропадает“, когда эту же часть пространства мы ощущаем как фон».*

Он рассматривает далее некоторые следствия этого наблюдения, имеющие значение для изобразительного искусства, особенно для эмоционального восприятия изображений. И в этом случае значимость задана не одним только изображением, возникающим на сетчатке, но и нашим истолкованием его. Он пишет:

*«Если изображение вдруг напомнит кому-либо фигуру уважаемого и любимого учителя, пору милого детства, человек испытает также и удовольствие, вспомнив о недавней встрече с этим учителем на пути в Геттинген. Изображение, похожее на совершенный по форме бюст женщины, несомненно, также пробудит в человеке определенные чувства».*



**Рис.4.** Зрительное перевертывание этого рисунка приводит к тому, что попеременно видны либо два профиля, обращенных один к другому, либо ваза

И распространяя это на произведения искусства:

*«Если случается воспринять в качестве объектов те части картины, которые задуманы как фон, то нередко возникает впечатление эстетически неприятных форм. Так, если некто столь несчастлив, что может на картине „Сикстинская мадонна“ увидеть фон в качестве основной фигуры, то он обнаружит выступающую крабью клещню, готовую вцепиться в святую Варвару, и причудливый, похожий на клещи инструмент, хватающий святого служителя».*

К сожалению, признаки, препятствующие перцептивному чередованию фигуры и фона (объекта и пространства), все еще недостаточно известны нам. Но и то немногое, что мы знаем, важно. Небольшие участки, окруженные более крупными, обычно воспринимаются как объект, как фигура. Повторяющийся узор воспринимается либо как фигура, либо как фон, но никогда — как



**Рис. 5.** Точно так же переворачивается картина и в том случае, когда контраст меняется на противоположный: вместо черных профилей и белой вазы изображена черная ваза на белом фоне

то и другое сразу. Прямые линии относятся к фигуре. Эмоционально окрашенные формы также относятся к фигуре, их присутствие делает фигуру доминирующей в целой картине. Помимо всего прочего на восприятие влияют перцептивная установка наблюдателя и его личные интересы.

Для своих экспериментов по восприятию Рубин применял почти исключительно штриховые рисунки; то же делают, как правило, все психологи вплоть до наших дней. Но нам придется далее показать, что в некоторых отношениях рисунок дает глазу весьма неестественную информацию. Правда, рисунок позволяет многое узнать о восприятии, так как с его помощью можно давать глазу точно рассчитанный стимул. Но рисунок -- столь неестественный объект, что результаты исследования могут оказаться весьма нетипичными. Чередование объекта и пространства может иметь место не только в условиях, описанных Рубином на примере его рисунков, встречается оно и в реальной обстановке (например, если смотреть на крыши домов на фоне вечернего неба). Чередование объекта и пространства заслуживает дальнейшего изучения; надо узнать, что происходит, когда мы постепенно увеличиваем количество данных, показывающих, что некоторая форма является объектом.

И тут прежде всего возникает вопрос: каким образом некоторые паттерны «внушают» нам, что они содержат объекты? Вопрос этот важен, потому что мы часто видим паттерны, явно обладающие свойствами «предметности». Так, мы воспринимаем паттерны, характерные для листьев, туч, облаков, для тонкой или грубой фактуры земной поверхности. А в декоративном узоре содержатся формальные или хаотические паттерны, которые мы воспринимаем именно как узор, не вкладывая в него никакой «предметности». Хотя порой случается и обратное. Мы почти различаем верблюда в плывущем по небу облаке, а в колеблющемся пламени костра нет-нет да и мелькнет чье-то разбойное обличье. В этих случаях мы видим то, на что *намекают* преходящие паттерны и случайные формы; сомнений нет — можно воспринимать паттерны и в то же время не видеть в них предметов.

В начале века психологи-гештальтисты провозгласили огромную роль «перцептивной организации» восприятия. Смысл их

посылок сводится к тому, что психике присущи врожденные принципы, в соответствии с которыми паттерны стимуляции организуются в «целое» (от немецкого слова Gestalt -- целостная форма). Доказывалась эта «организация в целое» с помощью черно-белых фигур, составленных главным образом из точек. Дело в том, что даже наборы из случайно разбросанных точек все же не выглядят как случайные -- глаз различает в них «конфигурации». Так, почти невозможно увидеть три точки при любом соотношении расстояний между ними, без того чтобы не воспринимать при этом еще и треугольник. В случайных скоплениях мы видим треугольники, квадраты, ряды -- из хаоса возникают самые разные фигуры. Узоры, составленные из точек, были использованы для формулирования «Законов организации». Они были рассмотрены в классической статье Макса Вертгеймера «Принципы перцептивной организации» (1923). Вертгеймер показал, что узоры, вроде тех, что изображены на рис. 6, воспринимаются как группы точек; точки, разделенные меньшими промежутками, «группируются» в пары, они как бы «принадлежат друг другу».

Рис. 6. На этом рисунке паттерн воспринимается как пары точек

С другим примером можно познакомиться на рис. 7: каждый наклонный ряд воспринимается как целое, и, кроме того, точки комбинируются в «треугольники». Следовательно, *пространственная близость* способствует перцептивной группировке элементов.

Рис. 7. Пример группировки точек по признаку пространственной близости. Обычно этот паттерн воспринимается как наклонные триады точек и еще как набор треугольников

Несколько иной принцип показан на рис. 8. Кружки и квадраты видны раздельно — в разных «рядах». Так обнаруживается важность *сходства* в перцептивной группировке. Большое значение гештальтисты придают тому, что они называют «хорошая фигура» и «замкнутость», подразумевая при этом, например, геометрическую простоту, особенно уподобление кругу, а также стремление «организовать части в целостные фигуры, имеющие хорошую форму». Предполагалось, что движение немаловажно для восприятия предметов, причем связь, сочетание движения частей приводит к тому, что эти части воспринимаются как одно «целое».

**Рис.8.** Этот паттерн воспринимается как серия горизонтальных юв: восприятие объединяет *сходные* символы

Гештальтисты рассматривали свои «организующие принципы» как нечто врожденное, унаследованное. Личному опыту они не придавали большого значения. Правда, в то время очных данных о перцептивном научении было немного, да к тому же германская метафизика, подчеркивавшая врожденность психики, вполне импонировала гештальтистам. Полностью принять наблюдения гештальтистов, отклонив в то же время гештальтистское

Рис. 9. Самая нижняя из точек наклонного ряда находится гораздо ближе к точкам вертикального; тем не менее в восприятии она принадлежит ряду наклонному. Очевидно, тенденция к организации точек в ряды сильнее, чем тенденция к связыванию точек по близости

объяснение этих наблюдений (врожденные принципы), не составляет труда. Труднее другое — возразить против того, что форма большинства объектов проста и содержит замкнутый контур, что части объекта сливаются в одно целое, что объекты часто имеют периодическую структуру и периодическую фактуру поверхностей и т.д. Короче говоря, нет данных, запрещающих гипотезу о действии организующих принципов при выделении объектов из паттернов; в этом процессе предпочтение отдается *типичным* характеристикам объектов. Но ведь не исключено, что восприятие последних, как и сами «принципы» восприятия, развилось путем индуктивного обобщения отдельных примеров. Поскольку в опыте

**Рис. 10.** Ряды, состоящие из точек (равно как и сплошные линии), воспринимаются в перспективе, если постепенно сближаются (конвергируют). Обычно конвергирующие линии (ряды) благодаря перспективному сжатию изображения с увеличением расстояния вызывают впечатление глубины. На этом рисунке ряды точек воспринимаются скорее как объекты, расположенные в трехмерном пространстве, чем как точки, лежащие в ровной плоскости страницы

всех людей встречаются в основном сходные объекты, нет ничего удивительного, если у всех появятся сходные или даже одинаковые перцептивные обобщения. Такое предположение рассматривалось некоторыми гештальтистами, но было ими отвергнуто по соображениям, не имеющим силы для нас. Тем не менее гештальтисты, возможно, были правы в том, что существуют и врожденные процессы, организующие целое из частей. Некоторые современные авторы, по-видимому, принимают это положение, но в целом теория гештальта отвергается, как представляющая собой крайнюю степень отсутствия объяснения.

Вероятно, мы не погрешим против истины, сказав, что гештальтистов интересовало не то, как мы видим объекты, а то, как мы видим паттерны, поскольку обычно они пользовались очень искусственным зрительным материалом — вроде паттернов, составленных из точек.

Вертгеймер утверждает:

*«Перцептивная организация идет сверху вниз; видны части целого — малые и большие, образуются группы] но все это происходит не путем перебора, сравнения, суммирования*

*отдельных элементов, а в результате процесса, для которого главную определяющую роль играет характер целого».*

Если бы это было справедливо для нормального процесса восприятия, мир был бы похож на колышущийся кисель.

Нет возражений против того, что организация «целого» важна, но нетрудно отыскать примеры, свидетельствующие о ее зависимости от индивидуального опыта. Например, мы группируем буквы — языковые символы; это, безусловно, выученный процесс. Один английский комический актер носил имя НОСМО КИНГ. Это был его псевдоним, который он буквально «открыл» однажды, обнаружив, как преобразилась надпись на двойной двери, ведущей в партер, когда дверь распахнулась; до этого там было написано: НОСМОКИНГ<sup>0</sup>.

Крупнейший немецкий естествоиспытатель Герман Гельмгольц (1821-1894) отводил значительную роль индивидуальному опыту (обучению) в развитии восприятия. Он писал:

*«Существуют многочисленные примеры жестких и с неизбежностью происходящих ассоциаций идей, причиной которых является частое повторение связей... так возникает, например, связь между словом, составленным из букв, звучанием и значением этого слова... Факты, подобные названному, показывают глубочайшее влияние опыта, тренировки, привычки на наше восприятие».*

Вряд ли эти слова вызовут какие-либо возражения, но тем не менее изначальность некоторых организующих перцептивных процессов, «заложенных» еще до рождения, остается непровергнутой. Такая возможность не вступает в противоречие с принципом экономии, и потому мы вправе ожидать этого. Сегодня из нейрофизиологических исследований мы знаем, что некоторые зрительные Детекторы формы встроены в сетчатку и в ткань мозга. За последние 10 лет это было установлено прямыми записями электрических потенциалов отдельных нервных клеток глаза и мозга.

Изучение электрической активности участков сетчатки в глазах лягушки показало, что далеко не все характеристики паттернов

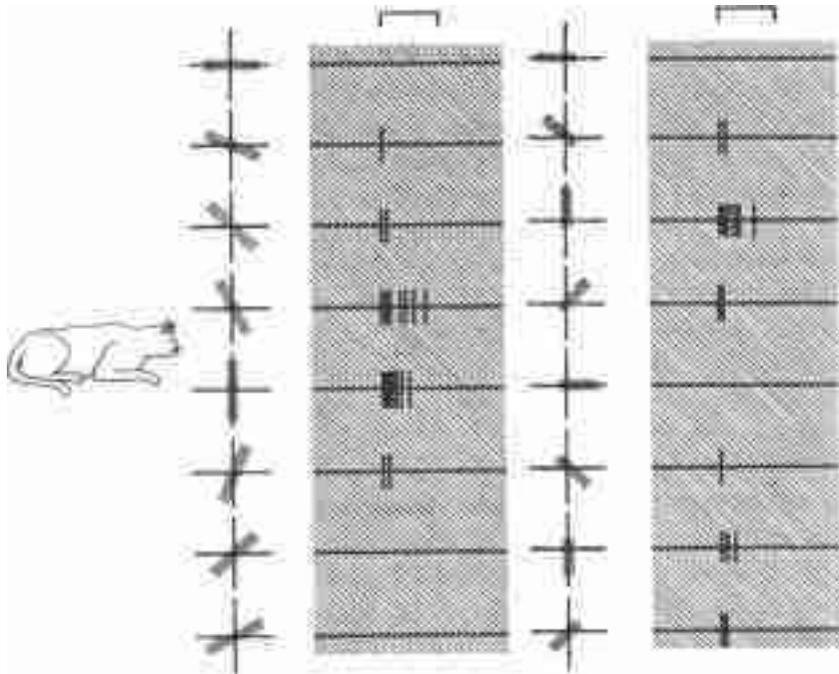
<sup>0</sup> No smoking (англ.) — не курить. — Прим. перев.



**Рис. 11.** Поверхность с четко выраженной фактурой снята под некоторым углом по отношению к вертикали. При рассматривании фотографии неизбежно возникает впечатление наклонной поверхности кирпичей, но отнюдь не страницы. Эта двойственность — часть парадокса, который представляют собой картины

стимуляции находят свое отражение в активности нервных клеток, а это значит, что в мозг передаются лишь немногие характеристики стимула. Сигналы к мозгу пойдут, если изменится интенсивность стимулирующего света, причем одни клетки просигнализируют включение, другие — выключение света, третьи сработают при любых изменениях интенсивности (первые называются «он-рецепторами», вторые — «офф-рецепторами», третьи — «он-офф-рецепторами»). Рецепторы, сигнализирующие об изменении интенсивности, служат, вероятно, и для сигнализации движения, а это жизненно важно для лягушки — она должна обнаруживать и ловить мух. Впрочем, это важно для всех животных: движение, как правило, сигнализирует о появлении потенциальной пищи или об опасности.

Уже на первой ступени восприятия — в сетчатке — мы обнаруживаем нервные механизмы, реагирующие на особые паттерны с различными временными и пространственными характеристиками. В очень интересной статье «Что глаз лягушки рассказывает мозгу лягушки» Леттвин, Матурана, Маккаллох и Питтс определяют несколько специфических механизмов, реагирующих на различные паттерны. Глаз выделяет движение (объектов), изменение освещенности и то, что можно назвать «степенью округленности». Появление маленькой черной тени вызывает сильную импульсацию; в ответ пробуждается рефлекс ловли. Этот рефлекс подобен выстрелу, который происходит при нажатии на спусковой крючок: лягушка выбрасывает язык в направлении «мухи» мгновенно — время не тратится ни на какую «переработку зрительной информации» мозгом. Кстати, мозг лягушки получает от глаз очень немного информации о паттернах. Вообще с развитием мозга в процессе эволюции строение глаз становится проще и в то же время от них поступает в мозг все больше информации. Ретина — не просто слой светочувствительных клеток, это также «вспомогательная вычислительная машина», в которой происходит предварительная переработка информации — подготовка к мозговой работе. Что же касается жизненно важной информации, например о движении, то она от сетчатки передается непосредственно к органам движения; это особенно характерно для хорошо развитых глаз (например, глаз кролика); очень вероятно, что то же самое есть и у человека.



**Рис. 12.** Один из своих основных экспериментов Д. Хьюбель и Т. Визель провели на одиночных клетках зрительной коры головного мозга кошки. Здесь показана электрическая активность одной клетки, возникающая в ответ на изменения простого зрительного раздражителя — линии, ориентированной под разными углами к горизонтали. Глаз кошки видит линию (серую), и в данной клетке мозга возникают разряды (спайки активности) в зависимости от ориентации этой линии

Лет десять назад два американских нейрофизиолога — Д. Хьюбель и Т. Визель — сделали поистине основополагающее открытие. Они обнаружили, что различные зрительные сигналы, соответствующие разным паттернам стимуляции, вызывают реакцию различных клеток мозга. Это открытие было сделано с помощью микроэлектродов, введенных в зрительную зону коры головного мозга (в так называемую стриарную зону, расположенную в затылочной части мозга) кошки. Оказалось, что одни клетки реагируют только на движение в каком-то одном, определенном направлении, другие — только на линии, ориентированные определенным

образом, третьи — только на ломаную линию. В исследованной части поверхности коры головного мозга распределение активности нервных клеток приблизительно совпадает с пространственным распределением стимуляции на сетчатке — как бы некая грубая «карта» границ электрической активности проецируется из сетчатки на поверхность затылочных зон коры головного мозга, но в глубине коры это пространственное соответствие уже не обнаруживается, и ответом на подробный сетчаточный паттерн является электрическая активность небольшого числа мозговых клеток.

В одной из следующих работ Хьюбель и Визель показали, что информация о различных паттернах стимуляции скапливается в так называемых колоннах, ориентированных перпендикулярно ясно видимым слоям стриарной зоны. Сами функциональные колонны невидимы глазом и были открыты с помощью тонких методических приемов. По-видимому, колонны представляют собой решение давней проблемы — как связываются в мозге три пространственных измерения, а также цвет, движение и другие предметные характеристики. Прежнее простое представление плоского «картографического» типа оказалось недостаточным, потому что ему не хватало размерностей, отражающих в совокупности нечто большее, чем просто три пространственных измерения внешних объектов, — ведь сам мозг тоже представляет собой трехмерный пространственный объект.

Исходя из электрофизиологических данных, можно предположить, что восприятие строится на основе нервных механизмов, реагирующих на определенные простые формы, на движение, на цвет. Эти параметры связываются в уже известных нам корковых колоннах. Логически это похоже на комбинацию букв, образующих слова: существенные признаки, очевидно, представляют собой перцептивный «язык» мозга. Продолжая аналогию, добавим, что пока еще совершенно не ясно, каким образом нейронные «слова» сочетаются, образуя «предложения», то есть каким образом выходы колонн комбинируются для формирования предметного Неприятия. Предположительно можно сказать, что здесь должна быть тесная связь со складами памяти, но что представляют собой эти хранилища, пока не известно. Мы не знаем даже, являются ли отдельными клетками или память хранится в виде паттер-

нов, вовлекающих большое число клеток; а если верно последнее, то процесс сохранения следов стимуляции должен быть подобен процессу сохранения оптических паттернов при голографии в отличие от запечатления «точки в точку», характерного для обычного процесса фотографирования.

Ответы на эти вопросы - - дело будущего, пока же следует изучать феномены восприятия, чтобы подготовить почву для этих ответов. Нейрофизиологическое объяснение - - это еще не все. Нельзя понять деятельность нервной системы, не зная того, каким задачам она служит. Большое число полезных объяснений сформулировано в функциональных терминах, а не в терминах структуры и активности структур. Для сравнения заметим, что инженеру, обслуживающему электронные вычислительные устройства, не обязательно глубоко знать физику, чтобы разбираться в цепях машины; точно так же математику, знающему логику машины и умеющему пользоваться ею, не обязательно глубоко разбираться в электронике. (Заявление вроде «Я понимаю, почему она сбежала с Биллом» может иметь вполне реальный смысл, хотя говорящий на самом деле не имеет ни малейшего представления о том, какие физические события происходили у «нее» в мозгу, когда принималось роковое решение.)

Мысль, что восприятие — просто процесс комбинирования активности разных систем обнаружения паттернов, в ходе которого строится нейронное «описание» окружающих объектов, весьма заманчива. На самом же деле процесс восприятия - - наверняка нечто гораздо более сложное, хотя бы потому, что главная задача воспринимающего мозга — отобрать единственный из многих возможных способов интерпретации сенсорных данных. Ведь из одних и тех же данных можно «вывести» совершенно разные объекты. Но воспринимаем мы лишь один объект и обычно воспринимаем верно. Ясно, что дело не только в сочетании, сложении нервных паттернов, восприятие строится и из решений. Чтобы понять это, стоит внимательнее рассмотреть неоднозначность объектов, причем тут следует иметь в виду, что выделение некоторой области паттерна как соответствующей объекту, а не просто части фона есть лишь первый шаг в процессе восприятия. Остается еще принять жизненно важное решение: *что есть этот объект!*

Вопрос стоит остро, поскольку любой двумерный паттерн может отвечать *бесконечному числу возможных трехмерных форм*. Восприятию помогают дополнительные источники информации — стереоскопическое зрение, параллакс, возникающий при движениях головы. Во всяком случае, остается фактом, что мы почти всегда достаточно надежно решаем, «**ЧТО** есть этот объект?», несмотря на бесконечное число возможных решений.

Одни и те же формы в разное время могут восприниматься как различные объекты. Подобно тому как рисунки, где фон и фигура попеременно меняются местами, некоторые формы, непрерывно представляющие в восприятии объект, «колеблются» - попеременно воспринимаются как различные объекты или как разные положения в пространстве одного и того же объекта. Здесь необходимо вспомнить работы Эдельберта Эймса — американского психолога, который придумал наиболее поразительные опыты, основанные на том, что видимые глазом формы весьма неоднозначны.

Эймс начинал как художник, а стал известен как автор замечательных «демонстраций работы зрения». Правда, далеко не всегда ясно, как именно работает зрение при этих «демонстрациях». К сожалению, сам Эймс писал очень мало, он больше любил смотреть.

Эймс предложил несколько моделей (некоторые из них в масштабе 1:1), предназначенных для того, чтобы наблюдатель получал такое изображение на сетчатке глаза (причем соответствующее знакомому объекту), которое бы существенно отличалось от истинной формы модели объекта. Правда, модель дает такое изображение только при определенном («критическом») положении наблюдателя и только при условии, что наблюдение ведется одним глазом. Самая известная из моделей — «комната Эймса». Когда наблюдатель рассматривает эту комнату одним глазом сквозь отверстие, расположенное в критической точке (рис. 13), он видит нормальную комнату кубической формы; на самом деле форма комнаты далека от кубической. Ее противоположная стена повернута так, что левый угол находится гораздо дальше правого, но в глазу наблюдателя изображения обоих углов одинаковы. Чтобы достичь этого результата, Эймс сделал стену постепенно увеличивающейся по мере приближения к дальнему углу. Так комната

Эймса приобрела одну из бесчисленного множества трехмерных форм, каждая из которых дает в глазу наблюдателя, помещенного в критической точке, изображение, соответствующее нормальной кубической комнате. Строго говоря, не Эймс был первым исследователем, разработавшим такую ситуацию. Пятьдесятю годами раньше ее предложил Гельмгольц:

*«Глядя на обычную комнату одним глазом, мы уверены, что видим ее так же четко и определено, как обоими глазами. На самом деле мы увидели бы ее (одним глазом) точно такой даже в том случае, если бы все ее участки были как угодно отодвинуты или приближены к глазу — лишь бы они оставались в тех же видимых направлениях».*

Но Эймс был действительно первым, кто *изготовил* такую «искаженную» комнату и кто представил, что произойдет, если внутрь такой комнаты поместить объекты известных наблюдателю размеров, удалив их от него на разное расстояние. Результат показан на рис. 14. Мы видим с критической позиции комнату Эймса, когда в ней находятся два человека. Один из них кажется меньше другого, хотя на самом деле они одинакового роста. Тот, кто кажется меньше ростом, находится примерно вдвое дальше другого от фотокамеры, поэтому размер фигуры первого человека на фотопластинке (и в глазу наблюдающего из критической позиции) вдвое меньше размера фигуры второго. Таким образом, дело здесь *не* в искажающей иллюзии (описанной в главе 4), а в том, что наблюдатель, решая эту задачу, ошибочно принимает изменение размера *вместо* изменения расстояния до объектов.

Совершенно ясно, что эта комната без введенных в нее людей или других объектов будет выглядеть нормальной кубической комнатой — она дает глазу соответствующее изображение. Очень может быть, что Гельмгольц не видел необходимости в постройке «искаженной комнаты» только потому, что считал результат само собой разумеющимся. Но введение в комнату объектов сразу изменило ситуацию — перед глазом встала альтернатива: наблюдатель должен решить, что имеет место на самом деле — *комната* искажена или *люди* разного роста? Ответ заранее

**Рис. 13.** Комната Эймса (в плане). Форма комнаты резко отлична от прямоугольной, кроме того, комната не плоская, тем не менее при ее наблюдении глаз получает обманчивое изображение нормальной прямоугольной комнаты, потому что ее форма искажена так, что все более удаленные части имеют в то же время больший размер. При правильном выборе соотношений размера с расстоянием комната *неизбежно* кажется наблюдателю нормальной, поскольку в его глазу возникает изображение, соответствующее именно комнате обычной формы

Точка  
наблюдения



**Рис. 14.** Так выглядит комната Эймса

предвидеть нельзя, он может быть получен только в результате эксперимента. И вот наблюдатель видит комнату кубической (какой она на самом деле не является), а людей — неравновысокими (хотя на самом деле они одного роста). Пари было заключено, и мозг сделал неверную ставку. Пари проиграно, зрение обмануто. Но так бывает далеко не всегда; утверждают, например, что новобрачная не обманывается, если в комнате находится ее муж: она продолжает видеть его высоким, а комнату — искаженной примерно так, как это и есть на самом деле. Несомненно, этот эффект можно с пользой применить для оценки женской преданности.

Если наблюдатель будет изучать комнату, используя для этого не только зрение, но и длинную палку, он постепенно увидит близкую к истинной форму комнаты. Активное исследование сможет исправить ошибку восприятия, хотя чисто интеллектуальное знание не позволяет этого. Чтобы перцептивное и интеллектуальное знания совпали, необходимо действие. Если бы этот факт был известен теоретикам эмпиризма XVIII столетия, развитие философии могло бы пойти совсем иначе. Можно не сомневаться, что сказанное справедливо и для политических суждений и оценок.

Все ли этим исчерпано? Не совсем. Пусть комната Эймса — интересная и поучительная демонстрация. Но позволяет ли эта демонстрация вывести точное заключение? Если это так, то необходимо показать, что эксперимент допускает контрольную ситуацию. Можно ли найти таковую в пределах искаженной комнаты или вне ее?

Вопрос, несомненно, надо поставить следующим образом: что произойдет, если повторить эксперимент Эймса *без комнаты*? Возьмем двух людей, поместим их на «пустом» фоне, причем одного из них поставим на расстоянии, вдвое меньшем, чем другого. Не покажется ли более удаленный человек стоящим на том же расстоянии, что и приближенный, только вдвое меньшего размера? А если нет, то чему приписать эффект, получаемый в комнате Эймса?

На рис. 15 показана фотография двух человек, один из которых был вдвое дальше другого от камеры, — их размеры различаются точно так же, как на фотографии, сделанной в комнате Эймса. Фотокамеру к тому же помещали достаточно низко, чтобы не воз-



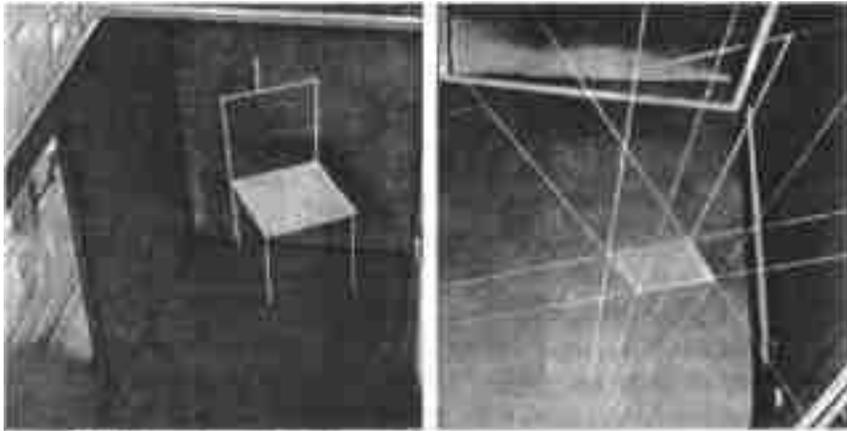
Рис. 15: «Комната Эймса без комнаты»!

Рис. 16. Так была получена фотография «комнаты Эймса без комнаты». Обе женщины стояли на фоне белого экрана и на разных расстояниях от фотокамеры, расположенной низко над полом. Вследствие этого информация о перспективе и о фактуре фона была утеряна. Оценить влияние этой утраты на восприятие можно лишь в эксперименте. Так мы получаем сведения о допущениях, которые строит воспринимающий мозг, и о значении ретинальной информации для изменении этих допущений в различных условиях наблюдения

никло линейной перспективы, по которой можно было бы судить об относительной удаленности этих людей.

Большинство наблюдателей, рассматривающих эту фотографию, говорят, что человек, стоявший ближе, и на фото виден несколько ближе, кроме того, размеры его фигуры намного больше, чем у другого человека. Иными словами, разница в размерах воспринимается как только *отчасти* зависящая от расстояния. Таким образом, добавление Эймса к ситуации, предложенной Гельмгольцем, не является существенным.

Широко известен также «стул Эймса». Он составлен из нескольких металлических стержней, поддерживаемых струнами тонкой проволоки, которые сходятся к одной точке. Стержни наблюдаются из этой точки, так что струны проволоки представляют собой



**Рис. 17.** Стул Эймса. Слева — наблюдение ведется из точки, в которую сходятся струны проволоки, поддерживающие стержни. Справа — вид стула Эймса из любой другой точки наблюдения

как бы материализованные перспективные линии, соединяющие глаз наблюдателя с концами стержней. Последние расположены так, что именно отсюда дают в глазу наблюдателя схематическое изображение стула, а из любой другой точки виден просто беспорядочный набор стержней. Опыт интересен, но, как и комната Эймса, ничего неожиданного сам по себе не содержит. Если модель сделана правильно, то она *должна* восприниматься как любой объект, имеющий на самом деле какую угодно форму, но дающий в этой ситуации именно такое изображение на сетчатке глаза, какое дал бы обыкновенный стул.

Замечательно не то, что опыт Эймса всегда удается, если не вводятся конфликтующие с заданной моделью элементы (это, кстати, *само по себе* очень интересно), а то, что перцептивная система все-таки удовлетворяется одной-единственной интерпретацией ретинальных изображений, формируемых нормальными объектами. Может быть, именно в этом и заключается суть опыта. Удивительно то, что из сонма возможностей мозг обычно извлекает практически наилучшую.

Нам уже сейчас придется допустить, что процесс восприятия предусматривает выбор (всегда спорный, нечто близкое к пари)

той интерпретации сенсорных данных, которая является наиболее вероятной, если исходить из мира реальных объектов. Перцепция строит что-то вроде гипотез, с помощью которых из сенсорных данных выводится объективная реальность. К тому же поведение не полностью контролируется сенсорными данными, а основывается на допущениях, *выведенных* в процессе восприятия из этих данных. Это становится ясным из анализа повседневного опыта: я кладу книгу на стол, не проверяя предварительно, выдержит ли он книгу. Я действую в соответствии с тем, как представляю себе физический объект — стол, а не в соответствии с тем коричневым пятном, которое находится в моем глазу, когда я смотрю на поверхность стола. Таким образом, процесс восприятия включает своего рода «блок принятия решений», то есть разум.

Говоря о восприятии, Гельмгольц употреблял термин «бессознательные умозаключения». Автор не совсем понимает, почему это представление Гельмгольца не стало популярным среди психологов. Гельмгольца особенно занимал тот факт, что, хотя сенсорная деятельность начинается на поверхности нашего тела, включая сетчатку глаза, мы все же ощущаем предметы как «вещи, находящиеся где-то там», то есть вне нас. К тому же даже иллюзорные ощущения, «проецирующиеся» вовне, бывают чрезвычайно сильными. Например, если осветить совершенно темную комнату краткой, но очень яркой вспышкой света, наблюдатель увидит интенсивный последовательный образ (последобраз), в котором будет различима каждая деталь комнаты. И хотя наблюдатель точно знает, что он видит лишь «фотографию», оставшуюся в глазу после вспышки, даже выйдя из комнаты и закрыв за собой дверь, он воспринимает этот видимый последобраз как подлинную комнату.

Гельмгольц предположил (хоть и не в форме силлогизма, который дается ниже), что мозг постоянно выводит «бессознательные Умозаключения» такого рода:

- Активность фоторецепторов сетчатки (почти вся) вызывается воздействием внешних объектов.
- Это есть активность фоторецепторов сетчатки.
- Значит, она (почти наверное) вызвана воздействием внешних объектов.

Нам пора совершенно четко уяснить себе, что в черепе нет никакого «человечка», строящего силлогизмы, да Гельмгольц, без сомнения, так и не думал. Но многим людям в его время, а некоторым и теперь (особенно тем, кто не знаком с работой электронных вычислительных машин) может показаться, что выражение «бессознательные умозаключения», прямо относящееся к восприятию, подразумевает присутствие такого «внутричерепного человека». Знакомство с ЭВМ снимает даже возможность появления недоразумений такого рода. У нас больше нет оснований считать логические действия исключительно *человеческой* способностью, с необходимостью требующей участия сознания. Свои «бессознательные умозаключения» при восприятии Гельмгольц описывал следующим образом:

*«Психическая деятельность, в результате которой мы воспринимаем определенный объект, находящийся перед нами в определенном месте и обладающий определенными признаками, есть в общем не сознательная, а бессознательная деятельность. Ее результат эквивалентен заключению, поскольку зарегистрированное воздействие на наши органы чувств позволяет нам сформулировать вывод о возможной причине этого воздействия»,* ведь фактически воспринимаются только нервные стимулы, вызванные воздействием, а никоим образом не сами внешние объекты. По-видимому, такие выводы отличаются от заключений в обычном понимании этого слова тем, что заключение, как правило, продукт сознательного мышления. Так, например, астроном приходит к подлинным заключениям, когда он вычисляет положение звезды в пространстве, ее удаленность и т.п., исходя из перспективных изображений этой звезды, полученных в разные моменты времени и с различных точек земной орбиты. Эти заключения основаны на сознательном применении законов оптики. В обычном акте зрения знание этих законов не фигурирует. И все же позволительно говорить о психических актах обычного восприятия как о бессознательных заключениях, отделяя их таким образом от так называемых сознательных заключений. Безусловно, были,

*есть, а может быть, и навсегда останутся некоторые сомнения относительно степени сходства между этими двумя видами психической деятельности, но нет никаких сомнений в наличии сходства между результатами, к которым можно прийти с помощью сознательных и бессознательных заключений».*

Почти вся эта книга, в сущности, посвящена разбору только что приведенного отрывка из трудов Гельмгольда. Совершенно ясно, что в процессе зрения самое важное для животного -- уметь различить, что именно (в тех паттернах, которые свет формирует в его глазах) соответствует объектам, находящимся в поле зрения животного, а что -- пространству между этими объектами. Следующее по важности -- опознать эти объекты, руководствуясь характерными для них паттернами. Но, как мы уже говорили, видимые объекты представляют собой нечто большее, чем паттерны, которые формируются на поверхности рецепторов, причем для обладателя глаз гораздо важнее именно те свойства объектов, которые непосредственно не воздействуют на глаза. Как же объекты «извлекаются» из паттернов? Нам предстоит рассмотреть внутреннюю «логику» восприятия. При этом главное мое положение заключается в том, что перцепция (восприятие) есть своего рода способность к решению проблем.

Рисунки, картины, изображения трактуются здесь как замечательные изобретения, для восприятия которых надо вырабатывать особое умение; предполагается, что некогда вслед за картинами появились абстрактные символы и, наконец, письменность. Разбирая восприятие объектов, отображенных в рисунках и в символах (включая пиктограммы древних языков), я надеюсь показать, что даже человеческая способность к чисто абстрактному мышлению может быть прямо выведена из первых попыток объективной интерпретации изображений-паттернов, формировавшихся в примитивном глазу.



## 2

## Странные свойства картин

Картины ведут двойное существование. Прежде всего — это объекты как объекты: узоры на плоских листах бумаги; но в то же время глаз видит в них и совсем другие предметы. Узор состоит из пятен, линий, точек, мазков или из фотографического «зерна». Но эти же самые элементы складываются в лицо, дом, корабль среди бурного моря. Картины — уникальный класс предметов, потому что они одновременно видны и сами по себе, и как нечто совсем иное, чем просто лист бумаги, на котором они нарисованы. Картины парадоксальны. Никакой *объект* не может находиться в двух местах одновременно; никакой объект не может быть одновременно двумерным и трехмерным. А картины мы видим именно так. Картина имеет совершенно определенный размер, и в то же время она показывает истинную величину человеческого лица, здания или корабля. Картины — невозможные объекты.

Впервые в эволюции органического мира с картинами столкнулись лишь глаза человека. До этого любые предметы были важны или, напротив, совершенно неинтересны *сами по себе*. Картина сама по себе пустяковый предмет, ибо что за важность — узор из пятен и линий. Картины важны только потому, что глаз видит в них *отсутствующие* предметы. Биологически это чрезвычайно странно. На протяжении миллионов лет животные реагировали лишь на реально существующую ситуацию или на предвидимые в ближайшем будущем изменения какой-то конкретной ситуации. Картины же и иные символы вызывают (допускают) реакции, направленные на ситуации, весьма отличные от реально существующих в данный момент; более того, они подчас порождают

восприятие «объектов», которых вообще не существует в реальном мире.

Если оставить в стороне картины и другие символы, то органы чувств обслуживают поведение и контролируют его в соответствии с физическими свойствами окружающих объектов, а не с какими-либо иными, реальными или воображаемыми, свойствами. В связи с этим способность человека реагировать *только* отсутствующие, воображаемые ситуации, представленные в картинах, является важным этапом в развитии абстрактного мышления. Возможно, что именно картина была первым шагом прочь от тесной реальности — тем шагом, без которого реальность нельзя по-настоящему глубоко понять.

Ретинальные изображения объектов не имеют двойной природы, свойственной «внешним» картинам. Мы не воспринимаем эти изображения одновременно и как паттерны и как нечто иное. Мы «извлекаем» реальность из паттернов, образующихся в наших глазах, но мы не можем *к тому же* еще и рассматривать эти паттерны как картину. Это может сделать кто-нибудь другой, заглянув в наши глаза с помощью специального оптического инструмента. Но изображение, находящееся в собственном глазу, — всего лишь одно из звеньев в цепи информации, циркулирующей в нервной системе. Мы столь же неспособны увидеть ретинальные изображения в собственных глазах, как и нервную деятельность, протекающую в собственном зрительном нерве и в клетках зрительной зоны собственного мозга. Таким образом, ретинальные изображения суть картины лишь для стороннего наблюдателя, но они не имеют двойной природы, свойственной картинам с точки зрения того человека, в чьих глазах они образуются.

Способность извлекать неоптическую действительность из оптических изображений, формирующихся в глазу, — это и есть чудо зрительного восприятия. То, что мы способны увидеть, выходит далеко за пределы оптической способности наших глаз. Извлекая нечто подобное действительности из рассматриваемой картины, мы выполняем на самом деле в высшей степени замечательную операцию, лишь отчасти похожую на решение задачи по извлечению сведений о реальности из ретинальных изображений. Картины ни в коем случае нельзя назвать обычными объектами; зато они

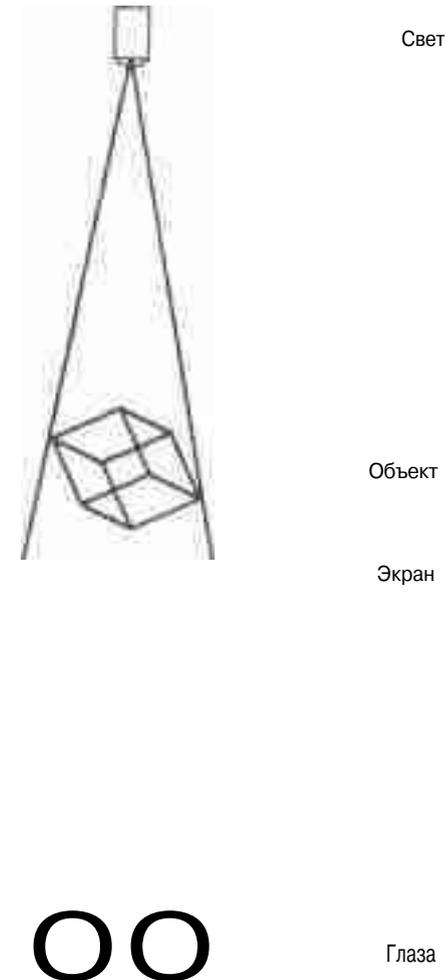
представляют собой чрезвычайно интересный объект для изучения особенностей восприятия.

Картины по сути дела представляют собой трехмерные объекты, спроецированные на плоскость. Достоверно известно, что невозможно втиснуть три измерения в одну плоскость, не утратив при этом никакой информации. Поэтому «глубина» на картинах всегда неоднозначна. И удивительно то, что мы все-таки способны разобраться в этих проекциях, хотя любая из них *бесконечно* неоднозначна; она могла бы отвечать бесконечному множеству объективных форм - - и все же мы обычно воспринимаем лишь одну из них.

Чтобы разобраться в странностях картин, нам следовало бы сравнить в эксперименте то, что мы видим, глядя на обычные объекты, с тем, что мы видим, глядя на картины. Для этого надо рассмотреть непосредственно объект, а также картины, на которых изображен этот объект. Можно было бы, конечно, нарисовать нужные нам объекты, используя линейную перспективу и другие приемы проективной геометрии, но это -- скучное занятие. Есть гораздо более экономное решение задачи — проецирование теневых изображений наших объектов. Такое решение тем более удобно, что мы имеем возможность проецировать изображение с любой точки зрения, в любой перспективе и даже вовсе без перспективы (рис. 18). Если мы возьмем маленький и яркий источник света и поместим объекты между ним и экраном, то плоские теневые изображения предметов на экране будут выглядеть точно так же, как если бы мы смотрели на предметы одним глазом из той точки, где находится наш источник света.

Этот фокус с проекцией теневых изображений предметов чрезвычайно пригодится нам в нескольких экспериментах, которые нетрудно сделать самому читателю. В большинстве случаев в качестве объектов хорошо использовать проволочные каркасы; такие предметы в проекции похожи на рисованные схемы; кроме того, они не имеют скрытых частей — разве что при особых (и немногих) положениях на пути от источника света к экрану.

Если проволочную окружность расположить параллельно экрану, она даст тень в форме окружности, но если наклонить ее, тень получится эллиптическая. Чем больше наклонена окружность



**Рис. 18.** Для экспериментальных целей удобно получать картины — плоскостные проекции предметов -- с помощью точечного источника света, отбрасывающего тень предмета на экран. Этот способ удобнее, чем способ получения изображений с помощью линз, потому что теневые проекции обладают бесконечной глубиной резкости и геометрия теневых изображений проста и точна



в природе, тем больше эксцентриситет ее эллиптической проекции. Глядя на экран и зная, что объект представляет собой окружность, мы воспринимаем теневое эллиптическое изображение как окружность, но только видимую не прямо, а чуть сбоку, хотя на сетчатке нашего глаза изображение будет иметь форму эллипса. Однако предположим, что нам не известна истинная форма объекта; тогда окажется, что имеется бесконечное число возможных вариантов наклона и эксцентриситета, которые дадут *ту же самую* проекцию — и то же изображение на сетчатке глаза. Проекция и ретинальное изображение бесконечно неоднозначны. Потому *точно* узнать объект по его изображению мы не сможем, даже если наша жизнь будет поставлена на карту.

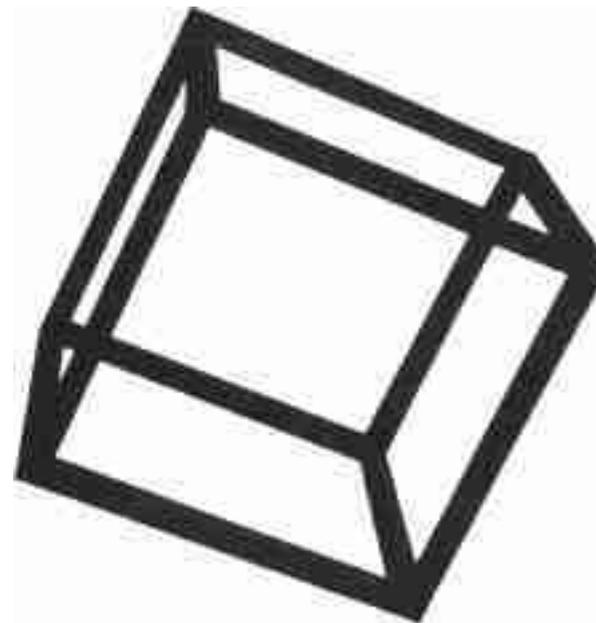
Сказанное справедливо и для более сложных предметов. Рассмотрим сделанный из проволоки каркасный куб (рис. 19). Перспективная проекция показывает ближайшую грань куба увеличенной по сравнению с дальней. Это различие в размерах может быть гораздо более значительным (когда тенеобразующий источник света расположен очень близко к объекту) — и все же по теневой проекции обычно опознается куб, то есть тело с равными гранями и прямыми углами, хотя в изображении, получающемся на сетчатке глаза, все это выглядит совершенно иначе. Мы истолковываем плоскую проекцию предмета как подходящий для возникновения такой проекции трехмерный объект, хотя «подходящий» вовсе не значит «сколько-нибудь похожий по форме». И тут же возникают вполне обоснованные сомнения. В самом деле, почему мы видим это изображение как куб, а не как любую из бесконечно-го разнообразия форм, которые могли бы дать точно такую же проекцию?

Например, это вполне могла бы быть проекция усеченной пирамиды, обращенной меньшим своим основанием к тенеобразующему источнику или к глазу.

По-видимому, не все возможные ответы на вопрос, какой предмет дал эту проекцию, для нас равнозначны. Мы «предпочитаем» одни объекты, более часто встречающиеся, другим, встречающимся реже. Кубы встречаются чаще, чем усеченные пирамиды, и мы видим эту проекцию скорее как куб, нежели как усеченную пирамиду или любую из бесконечного числа форм, которым мог-

ла бы принадлежать данная проекция, полученная с разных точек наблюдения.

То, что мозг выбирает именно наиболее вероятный из возможных ответов, таит в себе и некоторую опасность: трудно, а иногда просто невозможно воспринять очень необычный предмет, особенно в тех случаях, когда его проекция (его изображение) оказывается такой же, как проекция (изображение) привычных,



**Рис. 19.** Каркасный куб. Изменяя расстояние между кубом и источником света, а также изменяя положение куба, мы можем увидеть соответствующие изменения плоскостной проекции теневых изображений, причем теневые проекции меняются точно так же, как менялось бы ретинальное изображение в глазу, наблюдающем куб из точки, где расположен источник света

знакомых предметов. И это не пустяк, так как необычные формы действительно встречаются и не исключено, что в каком-то случае °т правильного восприятия их будет зависеть многое.

Мы — на пути к тому, чтобы заняться фундаментальными вопросами восприятия. Пусть восприятие имеет целью установить,

какому объекту вероятнее всего соответствует данная форма. Тогда неизбежен вопрос: из какого набора объектов производится выбор? Во всяком случае, не из всего реального мира объектов, так как ретинальные изображения явно служат только для того, чтобы обеспечить выбор из уже запасенного ранее набора объектов, представленных условными обозначениями в «зрительной части» мозга. По всей вероятности, восприятие заключается в том, чтобы опознать настоящее с помощью сведений, накопленных в прошлом.

Но если зрительно воспринимаемые признаки объектов служат для выбора сведений, накопленных в предшествующем опыте, и смысл видимого мира зависит от ограниченного запаса ответов, полученных в прошлом, то что же происходит, когда мы сталкиваемся с чем-то уникальным? Что происходит, когда глазу предъявляются противоречивые признаки? Что происходит, когда зрительно воспринимаемые признаки, используемые для идентификации данного объекта с одним из ранее известных, оказываются неподходящими для опознания одного (и только одного) объекта? Иначе говоря, когда мы получаем противоречивую информацию, значит ли это, что на «глупый зрительный вопрос» будет дан «глупый перцептивный ответ»?

Рассматривая картины с целью найти ответ на поставленные вопросы (отметим, что к вопросу художественной ценности картин такой подход имеет в лучшем случае косвенное отношение), мы можем разобраться в некоторых сторонах перцептивной деятельности мозга. Правда, картины — чрезвычайно искусственное средство исследования, и об этом всегда надо помнить; но, с другой стороны, то же самое можно сказать почти о любом лабораторном эксперименте.

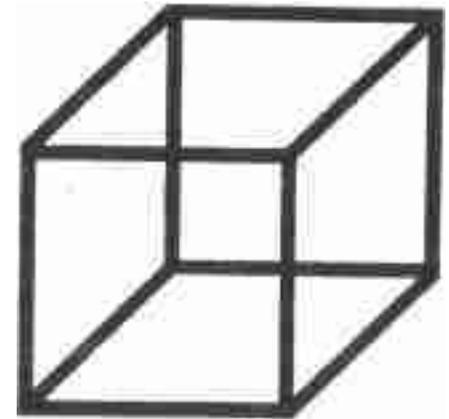
3

## р Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры

### Неоднозначные фигуры

Поскольку существует бесконечное число *возможных* трехмерных форм, дающих одну и ту же проекцию на плоскость (одну

**Рис. 20.** Куб Неккера. Это плоскостная проекция куба, видимого с очень большого расстояния. Перспектива отсутствует — разницы в размерах граней нет. При наблюдении фигура спонтанно (самопроизвольно) «переворачивается»: одна объемная проекция сменяется другой. По-видимому, в данном случае имеется не одно, а два равноправных решения перцептивной проблемы: что есть данный объект? Мозг «пробует» каждую из этих гипотез поочередно, не останавливаясь окончательно ни на одной из них



и ту же картину), нет ничего удивительного, что восприятие может быть неточным и неоднозначным. Замечательно как раз то, что нас так редко беспокоит и обманывает неоднозначность оптической проекции объектов на сетчатке глаза. На обычные объекты

в нормальных условиях мы смотрим обоими глазами; так как каждый глаз получает несколько иную проекцию объекта, многие глубинные формы воспринимаются однозначно. К тому же с помощью движений головы мы (сходным образом) избавляемся от неоднозначности. Однако ни тот, ни другой способ не годятся для восприятия глубины на картинах — и все же мы воспринимаем глубину на картинах в основном однозначно. Есть, впрочем, исключения. Эти исключения показывают, как реагирует мозг в тех случаях, когда не удается прийти к единственному решению.

Наиболее известный пример такого рода — каркасный куб, нарисованный без соблюдения правил перспективы (ближняя и дальняя грани куба одинакового размера); это знаменитый куб Неккера. Швейцарский кристаллограф Л. А. Неккер описал свой куб в 1832 году. С тех пор — в разных вариациях и по разным поводам — куб фигурирует в психологических работах. Ретинальное изображение такого куба получается при проекции с любой из двух разных позиций. Поэтому здесь одинаково возможны два разных ответа на один и тот же вечный вопрос перцепции: что есть этот предмет и где он находится? Один общий ответ на эти вопросы дать нельзя — не хватает информации. И мозг, не давая окончательного ответа в этой неясной ситуации, принимает поочередно каждую из двух возможных гипотез (рис. 20). Другой пример аналогичного характера — каркас полуоткрытой книги, фигура Маха (рис.21).



Рис. 21. Фигура Маха. Еще один пример самопроизвольно переворачивающейся фигуры. Она похожа на корешок книги, обращенной к вам то страницами, то обложкой

Глубинная неоднозначность — лишь одна из форм перцептивной неоднозначности. Неясным может оказаться и то, что представляет собой объект, показанный на картине или спроецированный



Рис. 22. Клякса или предмет? Это один из тестов, характеризующих личность. Роршах предложил его, основываясь на том, что наш мозг стремится увидеть предметы даже в фигурах с очень нечеткой структурой. Куб Неккера дает только две альтернативы восприятия. Клякса содержит бесчисленное множество таких альтернатив, причем ни одна из них не довлеет над другими. Поэтому каждый выбирает «объект», представляющий для него лично наибольший интерес, — в этом проявляются индивидуальные особенности восприятия и другие свойства личности

оптикой глаза на сетчатку. А иногда вообще непонятно, содержит ли данная картина (данное изображение) какой-нибудь объект. Так, глядя на «абстрактную» картину, мы подчас далеко не уверены в том, что художник вообще хотел изобразить какие бы то ни было предметы — пусть даже весьма условно. Впрочем, быть может, он и не хотел этого.

Да это и не обязательно. Даже в чернильных пятнах содержатся намеки на формы предметов. Этот факт положен в основу одного из специальных тестов исследования личности — теста Роршаха (рис.22). Так, облака иногда похожи на лицо человека, или на корабль, или еще на что-нибудь, но разве лишь мистик и впрямь поверит в небесные портреты или флотилии.

Намеренно (или случайно) можно создать картину, в которой «одно и то же» видно как два разных объекта. Наиболее



Рис. 23. Э. Боринг. «Неоднозначная теща»

известный пример такого рода показан на рис. 23, это картина американского психолога Э. Дж. Боринга. Она воспринимается то как портрет прелестной молодой девушки, то как лицо ужасной старухи, причем когда воспринимается один объект, совершенно «исчезает» другой. Девушка на картине видна в профиль; ресницы одного глаза осеняют щеку, на шее у нее — черная лента. Когда на картине «возникает» старуха, то подбородок юной леди превращается в противный громадный нос, а черная лента, окружавшая шею девы, — в узкую щель жесткого рта «старой развалины». Очень любопытно наблюдать за своими ощущениями во время альтернативного восприятия («вывертывания») этой картины. Значение каждого элемента картины меняется столь разительно, что трудно поверить в объективную неизменность рисунка: один рисунок как будто незаметно и ловко подменяют другим.

Эта картина обычно кажется неизменной до тех пор, пока взгляд не перейдет на новую часть рассматриваемого рисунка,

причем фиксация взгляда на некоторых частях рисунка как бы способствует удержанию одного изображения, а перенос фиксации на иные части — появлению другого изображения. Когда кокетливо повернутая щечка превратится в хищный нос, остальная часть лица девушки как бы тает, перетекая вслед за носом в другое лицо (почти так же, как лицо доброго доктора Джекилла исчезает, уступая место зловещей физиономии мистера Хайда)<sup>1</sup>

Движения глаз способствуют перевертыванию воспринимаемого изображения; на некоторых картинах фиксация взгляда на определенных частях изображения выявляет одну из альтернатив; тем не менее движения глаз не *обязательны* для возникновения перцептивного перехода; раньше или позже перевертывание наступает и само по себе.

Даже если последнюю картину (или куб Неккера) рассматривать совершенно неподвижным взором, изображение все же будет перевертываться, хотя и несколько реже. Таким образом, перцептивный переход происходит в мозгу без участия фактора изменения информации, поступающей от глаз (например, при движениях последних). Как мы увидим позднее, этот момент имеет немаловажное значение; он относится к числу фактов, подкрепляющих представление о восприятии как об активном процессе (точнее, сложной цепи процессов) преобразования ретинальных изображений в поисках их смысловой интерпретации. Правда, самому сделать взгляд абсолютно неподвижным невозможно: глаза совершают произвольные маленькие скачки от одной точки к другой и, кроме того, постоянно слегка дрожат с высокой частотой. И все же мы точно знаем, что перцептивные переходы неоднозначных фигур не зависят от движений глаз. Это подтверждается экспериментально, когда изображение долгое время остается *совершенно* неподвижным на сетчатке, так что при всех движениях глаз оно строго стабильно. Новые способы стабилизации ретинального образа требуют сложных оптических приспособлений, но читатель может проверить сказанное с помощью старого способа, использующего по-

<sup>1</sup> Персонаж-перевертыш из повести Р. Стивенсона «Странные приключения Доктора Джекилла и мистера Хайда». — *Прим. перев.*

слеобраз. В этом случае понадобится только одна фотографическая лампа-вспышка.

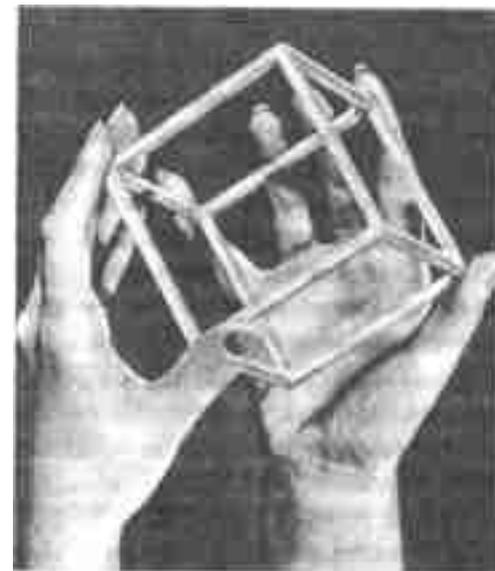
Методика такова. Поместите один из неоднозначных рисунков на удобном расстоянии от глаз; в затемненной комнате установите лампу-вспышку, с помощью которой будете освещать рисунок. Глядя в центр (или на какую-нибудь другую часть) рисунка, еле различаемого вами в темноте, дайте вспышку. Через несколько секунд после вспышки вы увидите яркий послеобраз рисунка, «спроецированный» вашим глазом на слабо освещенный потолок, стену или просто на чистый лист бумаги.

Вы обнаружите, что и картина, видимая в послеобразе, «перевертывается». Не вызывает сомнений, что послеобраз строго неподвижен относительно сетчатки; как бы ни двигался сам глаз, изображение остается на одном и том же участке сетчатки. Отсюда следует, что движение глаз, мерцание света (или изменение яркости освещения) и другие моменты, способствующие перцептивному изменению видимой картины, не являются обязательными для возникновения перцептивного перехода; последний может происходить *спонтанно*, то есть вследствие колебаний мозгового «решающего» процесса, без каких-либо внешних побудительных причин.

Но что происходит с этими спонтанными изменениями восприятия, когда имеется *дополнительная* сенсорная информация, сигнализирующая мозгу об истинном положении дел? Тут известно еще очень немного, хотя некоторые эксперименты в этом направлении и были предприняты автором совместно с одним исследователем. Мы пользовались не двумерной картиной, а трехмерным объектом, причем так, чтобы сигналы о форме объекта посылались в мозг через прикосновение в то же самое время, что и через зрение.

Опыт проводился в совершенно затемненной лабораторной комнате; объектом служил куб (со стороной около 10 см), изготовленный из проволоки и окрашенный светящейся краской. Куб жестко крепился к столу за один угол; испытуемый все время ощупывал куб рукой, неотрывно глядя на него и сообщая (в диктофон), какая грань куба кажется ему более близкой. Такой же опыт с каждым испытуемым проводился без ощупывания куба.

Оказалось, что все испытуемые ощущали перевертывание куба в обоих случаях -- с ощупыванием и без, -- но во втором случае перевертывание происходило примерно вдвое чаще. В момент перевертывания зрительное восприятие и тактильные ощущения расходятся: грани куба видны в одном порядке, но *ощущаются рукой* в совершенно ином. Это весьма примечательное переживание для испытуемого (рис.24).



**Рис. 24.** Глубинное расположение деталей этого покрытого светящейся краской куба перцептивно неоднозначно. В темноте видно перевертывание куба в глубину, несмотря на то что он ощущается руками; таким образом разделяются «два мира» — видимый и тактильно ощущаемый

По-видимому, зрительная интерпретация объектов (прежде всего это касается взрослого человека) осуществляется на основе главным образом зрительной информации. Другие источники сенсорной информации, например прикосновение, хотя и влияют на то, как мы видим предметы, но не определяют всего того, что мы воспринимаем зрением. У взрослого человека зрение достаточно автономно; тем не менее мы весьма склонны полагать, что при развитии -- как эволюционном, так и в детском возрасте -- зрение руководствуется прямыми сведениями об объектах, получаемыми через прикосновение. Необходимы Широко разветвленные исследования, чтобы установить, в ка-

кой степени другие чувства могут влиять на зрение и исправлять его ошибки.

Мы упоминали два вида неоднозначности: во-первых, неоднозначность глубины на рисунках (проекциях куба) и, во-вторых, неоднозначность содержания рисунков (портрет молодой леди - старой ведьмы).

Так как оба вида перцептивной неоднозначности *существенно* различаются, им следует дать свои названия: «глубинная неоднозначность» и «неоднозначность содержания». Перейдем теперь к планированию экспериментов для дальнейшего изучения этих феноменов, но тут необходимо учесть, что в обоих случаях потребуются совершенно разные эксперименты.

Для изучения глубинной неоднозначности, с которой мы начнем, нужен простейший аппарат; заинтересовавшийся читатель легко может изготовить его сам. Результаты опытов многообещающи, и можно рассчитывать на то, что они помогут ответить на основной вопрос: как происходит зрительное восприятие объектов? При этом следует помнить, что внезапные изменения в восприятии могут происходить и в тех ситуациях, когда изображен на сетчатке глаза остается неизменным. Это позволяет, сохраняя постоянство изображения, исследовать происходящие в мозгу центральные процессы принятия решений, и особенно то, как на основе сенсорных данных избираются перцептивные гипотезы, то есть альтернативы восприятия. Именно этот вопрос мы считаем здесь основным, центральным.

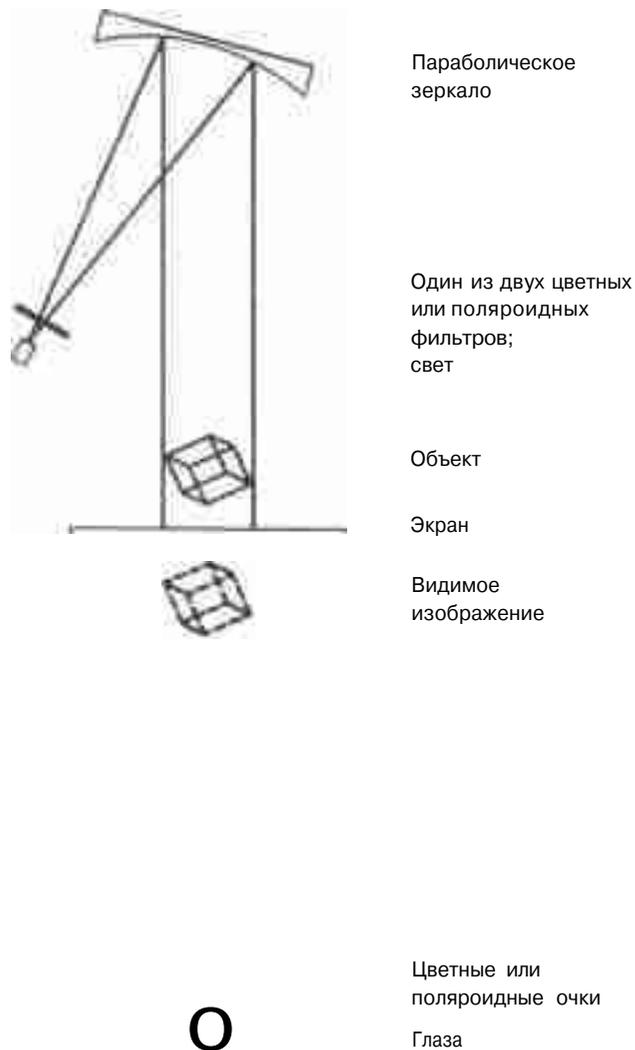
Куб Неккера лишен перспективы; его грани точно равны по размеру и по форме, тем не менее в любой данный момент одна из них воспринимается как передняя, а другая — как задняя грань куба. На рисунке куба, выполненном с соблюдением перспективы, одна (передняя) грань куба больше другой (задней). Такая разница в размерах служит сигналом глубины; мы можем предположить, что введение перспективы в рисунок помешает «перевертываться», поскольку разница в размерах должна уменьшиться, чтобы устранить неоднозначность фигуры. Проведя опыт и зарегистрировав число, показывающее, сколько раз в течение определенного отрезка времени (порядка нескольких минут) произошло перевертывание

куба, мы установим влияние перспективы (или любого другого фактора, влияющего на неоднозначность фигуры). Из опыта видно, что перевертывание по глубине — лишь один из нескольких наблюдаемых весьма любопытных эффектов. Прочие эффекты, обнаруживаемые нами в этих экспериментах, показывают разницу между тем, как мозг обращается с *картинами* и как — с *объектами*.

Кроме исследования влияния перспективы, мы попытаемся также выявить влияние включения второго глаза, то есть влияние стереоскопически воспринимаемой глубины. Посмотрим еще, к чему приведет дополнительный фактор — движение. И наконец, сравним восприятие нескольких разных картин с непосредственным восприятием объекта, изображенного на этих картинах.

Чтобы провести эти эксперименты, необходима методика, позволяющая по-разному изображать объекты; придется давать картины с перспективой, «дозировать» последнюю от нуля до максимума; понадобятся также трехмерные картины, выполняемые с применением стереоскопической техники. Все это достаточно просто удастся, если использовать тени.

Воспользуемся чуть усложненной схемой теневой проекции. Теневой проектор может давать любую перспективу (в том числе и нулевую); он же может дать двойное изображение, вполне достаточное для стереоскопического восприятия. Сам аппарат весьма прост. Это маленький «точечный» источник света, отбрасывающий тень предмета на матовый экран; в качестве предмета можно использовать, к примеру, каркасный куб. Глаз увидит на экране плоское изображение предмета. Оно будет иметь перспективу, выраженную тем сильнее, чем меньше расстояние между источником света и объектом; перспектива здесь будет зависеть только от расстояния. Если бы оно было бесконечно большим, перспективы не было бы совсем. Вместо того чтобы брать очень большие расстояния, используем большое параболическое зеркало: оно позволит нам сделать пучок падающих на экран лучей света параллельным. Источник света при этом поместим в фокусе параболического зеркала, а объект — в любой точке оси от центра зеркала к центру экрана; объекту можно даже придать



**Рис. 27.** Можно скомбинировать проекцию из пары источников (здесь показан только один) для получения стереоизображения с отражением от параболического зеркала — для устранения перспективы. Тогда образ предмета будет объемным, но не перспективным. Такой образ, невозможный в реальной жизни, исключительно полезен для целей нашего эксперимента

постоянное вращение — и тогда у нас будет непрерывно меняющееся изображение.

Чтобы получить стереоизображение нашего предмета, добавим еще один «точечный» источник света. Оба источника поместим рядом так, чтобы расстояние между осями объектов было примерно равно расстоянию между глазами человека" (около 60 миллиметров). Это позволит дать на экран две плоские проекции объекта — по одной для каждого глаза наблюдателя. Обе они будут различаться между собой точно так же, как различаются в норме ретинальные изображения обычного объекта в обоих глазах наблюдателя. Таким образом, мы получим правильно спроецированную пару картин — стереопару изображений объекта (рис. 25, см. цветную вкладку). Осталось лишь устроить так, чтобы правый глаз получил свою картинку, а левый — свою. Каждую картинку следует сделать видимой только для одного глаза. Это достигается с помощью фильтров — поляроидных либо цветных. Пусть теперь наблюдатель смотрит на экран сквозь очки, в которых правое стекло красное, а левое зеленое; тогда каждый глаз получит «свою» проекцию объекта. В мозгу обе «проекции» сольются и возникнет стереоскопический образ объекта. Наблюдатель воспримет этот образ как трехмерную пространственную фигуру. Прием двойной проекции, позволяющий нам работать обоими глазами и получать при этом стереоэффект, особенно важен при изучении незнакомых предметов.

Сравним теперь то, что получается, когда мы рассматриваем предмет *непосредственно*, с тем, что мы видим, воспринимая его на *картине*, при каждом из четырех видов проекции. Несмотря на то что перспективу можно в принципе менять плавно, мы будем пользоваться только двумя ее вариантами:

- а) перспектива при малом расстоянии между источником света и объектом;
- б) нулевая перспектива — при проекции объекта из оптической бесконечности.

Для сравнения возьмем только два предмета: каркасный куб и усеченную пирамиду.

3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры



**Рис. 28.** Наблюдатель смотрит одним глазом. Восприятие объекта. Куб воспринимается как куб. В глазу изображение дальней грани меньше по размеру, но при этом она не выглядит уменьшенной. Все углы имеют вид прямых (хотя в ретиальном изображении на дне глаза они не являются таковыми, потому что ретиальное изображение есть перспективная проекция предмета). Когда куб переворачивается в глубину, подобно тому как это происходит с кубом Неккера, он уже больше не выглядит как куб. Та грань, что кажется более удаленной, выглядит сильно увеличенной, а грань, воспринимаемая впереди, кажется уменьшенной. Воспринимается не куб, а усеченная пирамида. Это изменение видимой формы предмета происходит каждый раз совершенно внезапно и одинаково у всех наблюдателей

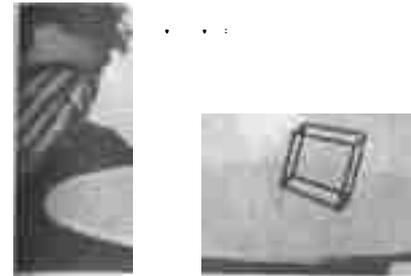


**Рис. 29.** Наблюдатель смотрит одним глазом. Монокулярная перспектива. Восприятие картины. Изображение куба, точно выполненное в перспективной проекции на плоскости листа, выглядит искаженным: одна грань меньше другой, противоположной. Меньшая грань кажется дальней гранью куба, но в то же время видно, что она находится в плоскости листа на том же расстоянии от наблюдателя, что и большая (передняя) грань. Глубина здесь парадоксальна: видимая фигура представляет собой и объемный куб, и плоское изображение. При перцептивном перевертывании фигура не меняет формы в отличие от куба, наблюдаемого в натуре

Что видит наблюдатель

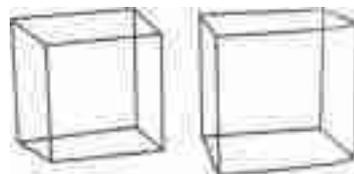
Ы \

3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры



**Рис. 30.** Наблюдатель смотрит одним глазом. Монокулярная нулевая перспектива. Восприятие объекта. Каркасный куб заменен усеченной пирамидой, которая обращена к глазу наблюдателя меньшей по размеру гранью. При этом мы выбрали такое расстояние, что на ретине глаза изображение объективно меньшей грани имеет точно ту же величину, что и изображение объективно большей грани. (Объект устанавливаются так: находят то положение и расстояние, при которых ближняя грань точно закрывает дальнюю; затем слегка его поворачивают, чтобы дальняя грань была видна.) Объект не выглядит как куб. Дальняя грань кажется больше ближней. При перцептивном перевертывании большей кажется та грань, которая воспринимается как дальняя. Таким образом, объект все время выглядит как усеченная пирамида, но большей кажется то одна, то другая грань — та, которая выглядит в данный момент более удаленной

Что видит наблюдатель



**Рис. 31.** Наблюдатель смотрит одним глазом. Восприятие картины. На картине куб Неккера. Перспектива не дана: размеры «ближней» и «дальней» граней куба одинаковы. Они и воспринимаются как одинаковые при обоих вариантах перцептивного перевертывания фигуры. (Обратите внимание, однако, на последующие замечания о важности фактуры плоского листа.) Глубина здесь парадоксальна

Что видит наблюдатель

К

### 3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры

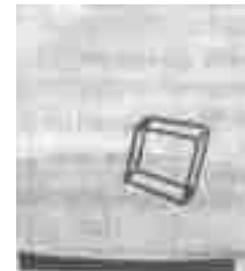


**Рис. 32.** Наблюдатель смотрит двумя глазами. Стереоперспектива. Восприятие объекта. Каркасный куб воспринимается как куб. Все ребра одинаковой длины, все углы прямые, несмотря на то что в ретинальном изображении каждого глаза дальняя грань куба отражена меньшей по размеру, чем ближняя грань. Перцептивное перевертывание куба случается редко, но оно, безусловно, может происходить. «Вывернутый наизнанку» куб кажется не вполне реальным, искаженным, форма его нарушается подобно тому, как это происходит при наблюдении одним глазом; в частности, грань, которая кажется дальней, выглядит сильно увеличенной



**Рис. 33.** Наблюдатель смотрит двумя глазами. Стереоперспектива. Восприятие картины. Картина кажется совершенно объемной, нарисованный объект выглядит удивительно реальным — до того, что трудно отличить его от такого же, но «настоящего» каркасного куба, наблюдаемого в натуре. Видимый куб не имеет искажения формы. Иногда (редко) он перевертывается - и тогда стереокартина выглядит искаженной точно так же, как в случае перцептивного перевертывания реального каркасного куба

### 3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры



**Рис. 34.** Наблюдатель смотрит двумя глазами. Стереонулевая перспектива. Восприятие объекта. Усеченная пирамида выглядит именно как усеченная пирамида: ближняя грань меньше дальней, как это и есть в действительности, хотя и та, и другая грани дают в обоих глазах одинаковые по величине изображения. При перцептивном перевертывании (что случается редко) грань, кажущаяся более удаленной, выглядит увеличенной

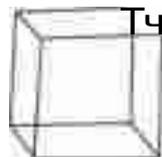


**Рис. 35.** Наблюдатель смотрит двумя глазами. Стереонулевая перспектива. Восприятие картины. Физически ближняя и дальняя грани куба изображены в плоскости листа одинаковыми по размеру, но выглядят они различно: грань, которая воспринимается как дальняя, кажется увеличенной. Увеличенной она кажется и при перцептивном перевертывании (что случается редко), но при этом вся объемная фигура принимает странный, как бы нереальный вид

Что видит наблюдатель



Что видит наблюдатель



Что видит наблюдатель

Что видит наблюдатель

### 3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры

Условия, в которых происходит (да) либо не происходит (нет) искажение\*

Глубина воспринимается правильно				
Монокулярная перспектива		Монокулярная нулевая перспектива	Стереоперспектива	Стереонулевая перспектива
Предмет	Нет	Да	Нет	Нет (обычно)
Картина	Нет? (парадоксально)	Да (парадоксально)	Нет	Да
Глубина воспринимается наизнанку				
Монокулярная перспектива		Монокулярная нулевая перспектива	Стереоперспектива	Стереонулевая перспектива
Предмет	Да	Да	Да (редко)	Да (редко)
Картина	Да? (парадоксально)	Да (парадоксально)	Да (редко)	Да (редко)

\* Под «искажением» мы понимаем тот случай, когда фигура не выглядит похожей на куб. Под «парадоксальностью» мы подразумеваем тот случай, когда на глубинное расположение деталей фигуры влияет фон: фигура как бы лежит в плоскости фона и в то же время в квазиглубинном пространстве монокулярного зрения. (Этот парадокс глубины фигуры не имеет места ни при прямом наблюдении предметов, ни при стереовосприятии картин.)

Наши опыты показали также, что картины могут быть удивительно мало пригодны для опознания даже знакомых предметов.

Таблица, в которую сводятся основные наблюдения, позволяет увидеть, что происходит с каждой из четырех проекций в тех случаях, когда фигура воспринимается правильно, и в тех случаях, когда она вывернута по глубине наизнанку.

Что говорят о восприятии проведенные нами опыты? Многое, и в том числе то, что зрительное восприятие картин очень отличается от зрительного восприятия обычных, «нормальных» объектов. А это значит, что картины *не являются* нормальными предметами для глаз, они представляют совершенно особый случай воспри-

### 3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры

ятия. И поскольку большинство экспериментов по восприятию проводилось с помощью картин, следует очень осторожно оценивать результаты таких экспериментов, особенно что касается перенесения выводов, сделанных в экспериментах с картинами, на восприятие нормальных объектов.

#### Парадоксальные фигуры

Картины сами по себе — просто плоские предметы, содержащие узоры из светлых, темных и цветных пятен и полос. В то же время они открывают глазу совершенно иные предметы, лежащие в совершенно ином пространстве. Ни один предмет не может одновременно быть в двух местах, не может иметь одновременно более чем один набор размеров и более чем одну форму. Но объект, *видимый на картине*, находится не там, где воспринимается плоскость картины, и при этом имеет совсем иные размеры и совсем иной объем.

Все картины парадоксальны — в том смысле, что все они являются двойственной зрительной реальностью: плоские предметы видны плоскими, но в то же время это совершенно иные, трехмерные предметы, расположенные в ином пространстве. Эта двойственная реальность — парадокс, свойственный самому существу картины.

Каждый художник свободен в выборе изображаемого мира. В отличие от фотоаппарата кисть художника не скована геометрическими вариантами перспективы; если художник захочет, то может придать удаленным предметам тот же или даже больший размер, чем близким предметам (хотя реальные размеры всех этих предметов могут быть одинаковыми). Художник может как угодно исказить предметы, заставить далекие объекты перекрывать контуры близких — вообще он может написать вселенную заново.

Художник может не только придать плоскости холста видимость трехмерного пространства, но и наоборот: сделать так, чтобы трехмерные, выпуклые предметы казались плоскими, вогнутыми и т. д. -- в зависимости от тех или иных приемов изобразительного искусства, примененных им для того, чтобы обмануть наше чувство расстояния и рельефа.



**Рис. 36.** Уильям Хогарт. Рыбак (1754). Сочетая различные углы наблюдения и несколько планов перспективы, Хогарт добивается на первый взгляд обычной, а на самом деле невозможной композиции

Английский живописец Уильям Хогарт намеренно извратил перспективу в гравюре, изображающей (рис. 36). Поначалу картина кажется совершенно обычной, «разумной», но более внимательный взгляд очень скоро обнаруживает, что реальные сцены



**Рис.37.** Гравюра Мориса Эшера. Изображен водопад, который, по-видимому, непрерывно струится вверх

никоим образом не могли бы разыгрываться так, как это показано художником. Гравюра содержит целый ряд зрительных нелепостей, парадоксов, связанных с пространственным расположением



Рис.38. Гравюра Мориса Эшера, на которой изображен невозможный дом

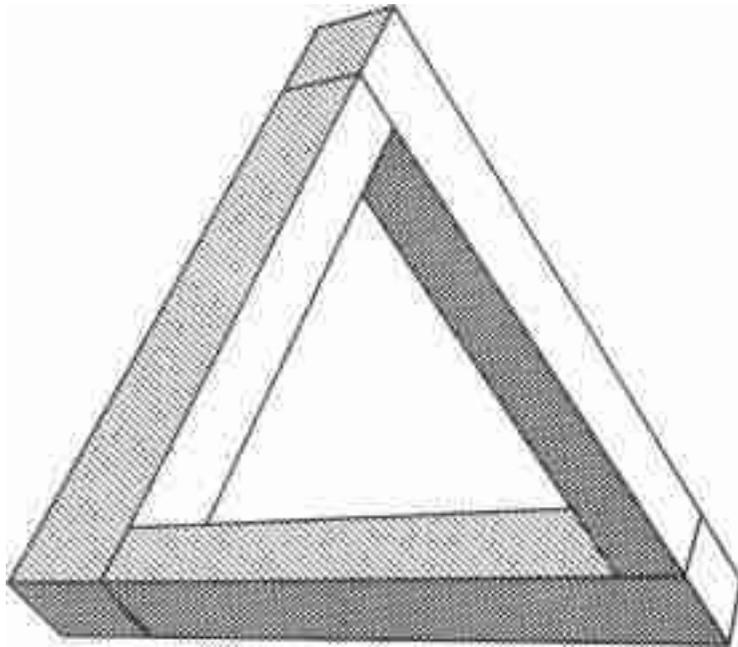
удилища и лески, рыбака, моста и других предметств. Хогарт вполне достиг своей цели -- доказать силу перспективы, ибо ничто так хорошо не подтверждает ее могущества, как целенаправленное извращение.

Немало гравюр, увлекательно показывающих парадоксы изображения глубины, создал после Хогарта голландский художник Морис Эшер. Есть у него водопад, непрерывно бегущий вверх (рис. 37), есть гравюра, на которой довольно трудно понять, к чему на самом деле прислонена лестница (рис. 38). Гораздо проще сделаны и потому еще более поразительны рисунки Л. и Р. Пенроузов. Они назвали их «невозможными объектами»; к сожалению, название неудачное, так как невозможными могут казаться и изображения, и реальные объекты. Поэтому я буду называть их «невозможными фигурами», а название «невозможные объекты» сохраню для реальных предметов, которые могут показаться парадоксальными.

Среди невозможных фигур особенно поражает «невозможный треугольник» (рис. 39). На первый взгляд он вроде бы похож на нормальный треугольник, но очень скоро понимаешь, что он, безусловно, необычен. Хотя каждый угол в отдельности выглядит совершенно нормально, становится ясно, что никакой реальный объект не может одновременно иметь три угла, повернутые к наблюдателю в таких ракурсах. Воспринимающий мозг стремится отвергнуть мысль, что этот рисунок изображает реально существующий объект.

На самом деле -- как бы удивительно это ни показалось -- такой предмет *можно* сконструировать. Его фотографию мы видим на рис. 40. Фотография совершенно не ретуширована, лишь тщательно подобрана позиция фотокамеры. Предмет сделан из дерева; никакой специальной теневой окраски или иных способов изменения кажущегося рельефа и формы применено не было. Способ освещения также не важен. Этот предмет действительно существует. С той точки, где был расположен объектив фотокамеры, он и глазу покажется таким же, как на фотографии.

И даже зная ответ -- что это не треугольник, а совсем непохожий на него трехмерный предмет, -- очень трудно увидеть его таким, каков он есть на самом деле.



**Рис.39.** Невозможный треугольник Л. и Р. Пенроузов. Может ли такой треугольник существовать в действительности?

Если мы верно предположили, что восприятие есть процесс, связанный с выбором подходящей гипотезы о внешнем объекте, процесс, основанный на той информации, которая преобладает, то мы в состоянии объяснить, почему трудно правильно увидеть этот предмет. Верное решение — трехмерный деревянный предмет весьма странной формы — является чрезвычайно маловероятным исходом процесса интерпретации ретинального изображения, полученного при взгляде на этот предмет. Правильный ответ может быть дан лишь в результате качественного скачка воображения. В ретинальном изображении не содержится и намек на то, что перед глазом -- трехмерный предмет; поэтому только приняв, что это изображение трехмерного предмета, можно увязать три немыслимых в совмещении поворота углов в единую, возможную в предметном мире форму.



**Рис.40.** Здесь дана совершенно неизменная фотография предмета, который существует — и тем не менее кажется невозможным

Особенно интересно, что, понимая разумом правильный ответ и даже изготовив предмет самостоятельно и затем рассматривая его со всех сторон, мы все же из критической позиции не воспринимаем этот предмет, как он есть. Правильное перцептивное решение столь маловероятно, что избираемая гипотеза о предмете никогда не оказывается истинной. Вполне очевидно, что процесс восприятия, будучи процессом принятия решений, в то же время не допускает прямого воздействия отвлеченного знания на выбор всех перцептивных решений. Последний вывод имеет большое теоретическое и практическое значение.

Другая, не менее известная невозможная фигура — трезубые вилы (рис.41). Что такое со средним зубцом? Да и средний ли это зубец? Если да, то лежит он в той же плоскости, что и два других, или ниже? Как ни странно, но и то и другое кажется верным. Но ведь это невозможно: ни один предмет, ни одна часть предмета не могут находиться в одно и то же время в двух разных местах. И поэтому средний зубец не может быть в одной плоскости с двумя другими зубцами и в то же время ниже этих зубцов, а рисунок показывает именно это. Мы не можем принять какую-либо перцептивную гипотезу, примиряющую рисунок с миром объектов, не можем извлечь из ретинального изображения ни одной подходящей к объективному миру гипотезы, и потому мы *не можем увидеть такой объект*. В данном случае различные части рисунка не удастся согласовать между собой, даже приняв любую маловероятную гипотезу.

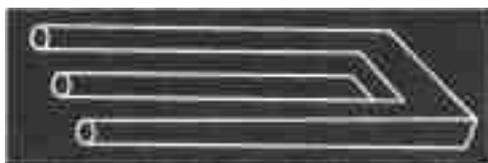


Рис.41. Невозможные вилы

Средний зубец непосредственно виден в двух плоскостях одновременно. Когда никакая гипотеза не может привести к согласованию элементов изображения, получить реальный объект, соответствующий этому изображению, невозможно; наш треугольник — иное дело. Художник может свободно связывать любые элементы фигур, любые композиции, и таким образом создает перцептивный парадокс, не имеющий однозначного решения. Тот факт, что невозможный треугольник все-таки изготовлен, показывает, что проблема может иметь единственное верное решение в мире объектов, хотя зрительная система и не в состоянии это решение обнаружить.

Возникает следующий вопрос: почему некоторые формы так трудны для восприятия? Нарушают ли они какие-то правила или попросту слишком необычны? Конструкция объекта, соответствующего фигуре «невозможный треугольник», показана на рис. 42.

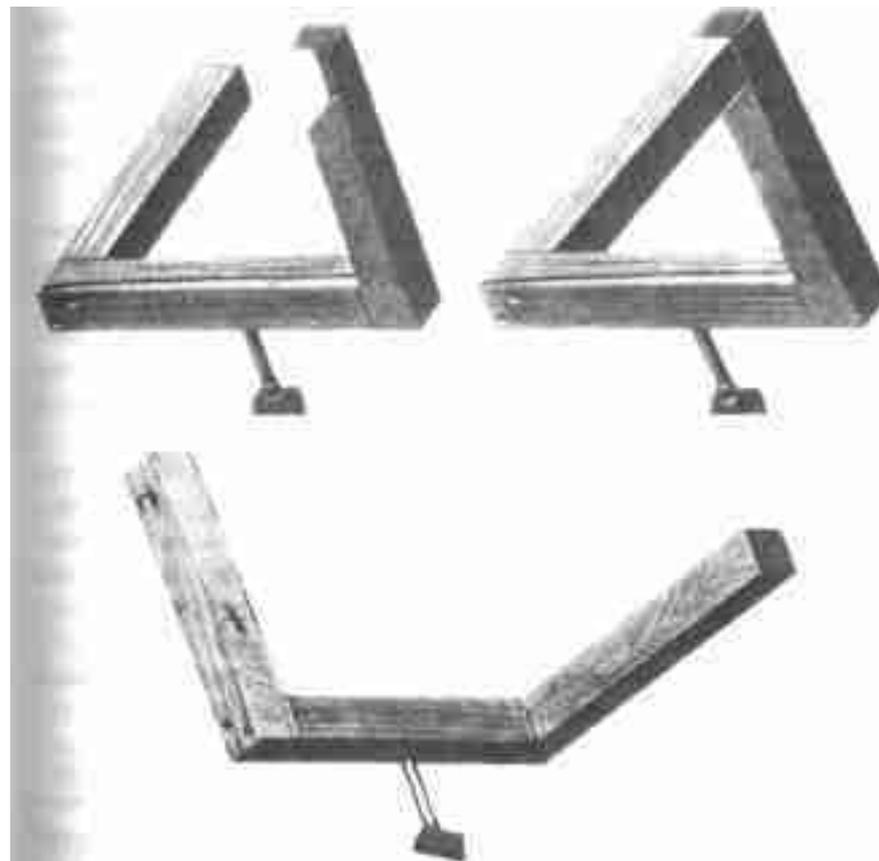


Рис. 42. Сделанные с разных позиций фотографии предмета, показанного на рис. 40, позволяют увидеть истинную форму предмета. И все же с одной (критической) точки зрения этот предмет по-прежнему кажется парадоксальным, хотя мы теперь и знаем правду о его подлинной форме. Судите сами, каковы наши представления о вещах

Его стоит изготовить и потом рассмотреть этот объект, который выглядит невозможным. Пусть ретинальное изображение его ничем не отличается от фотографии — мы все же знаем, что это материальный объект. Изготовлен он из деревянных брусков квадратного сечения. Дерево настоящее, мы это видим -- и все же не можем

### 3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры

воспринять расположение всех частей предмета в пространстве одновременно. Увидеть собственными глазами, как крепкие деревянные бруски соединяются в невозможный и в то же время простой объект, несомненно, стоит - - это производит гораздо большее впечатление, чем мимолетная «игра света» или фокусы, основанные на ловкости рук.

Поскольку трехмерный объект также может оказаться зрительно невоспринимаемым, ясно, что явление, которое мы определили как парадокс картин, является не единственным парадоксальным явлением зрительного восприятия. Очевидно, что парадоксальную глубину можно обнаружить не только при рассматривании плоскости картины, так как наш треугольник не лежит в одной плоскости.

Объект является парадоксальным тогда, когда отсутствует правильная зрительная гипотеза, позволяющая верно интерпретировать ретинальное изображение объекта. В частности, парадоксально связанными кажутся части такого объекта, который мы воспринимаем как двумерный, хотя на самом деле он лежит в пространстве трех измерений.

Что касается картин, то парадоксальность глубины может быть обнаружена в них и независимо от плоскости картины:

- а) когда пространство, изображенное на картине, воспринимается неправильно, вследствие того, что не была найдена наилучшая перцептивная гипотеза, хотя она могла быть найдена;
- б) когда на картине даны несовместимые глубинные планы, из-за чего никакая целостная интерпретация не возможна.

Таким образом, мы находим несколько разновидностей парадокса картин:

1. Все картины парадоксальны в силу того, что каждая из них есть — физически -- узор на плоскости, но — зрительно - помимо узора на плоскости содержит еще и трехмерное пространство объемных объектов. В этом заключается двойственная реальность картин, делающая их уникальными предметами зрительного восприятия.

### 3. Неоднозначные, парадоксальные и неопределенные фигуры

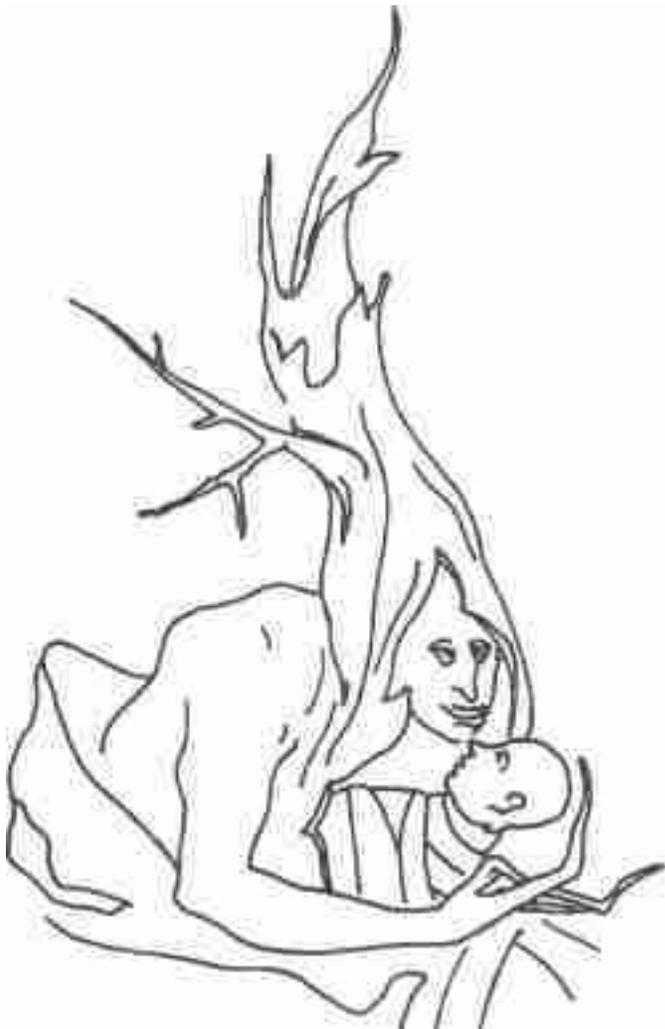
2. Картины могут содержать несовместимые указания на глубину пространства. Поскольку художник свободно выбирает приемы и планы, которыми пользуется для передачи глубины, он волен создавать большое число разных вариантов возможного парадокса этого рода. Но в мире объектов такой парадокс невозможен.
3. Картины могут оказаться парадоксальными случайно или направленно — когда у наблюдателя создается впечатление, приводящее к выбору неверной перцептивной гипотезы вместо той, которая необходима, чтобы дать правильную интерпретацию, то есть увидеть картину в соответствии с законами нормального объективного мира.

Из опыта с моделью «невозможного треугольника» мы знаем, что глубинный парадокс такого рода не ограничен картинами, но может иметь место и в мире трехмерных объектов, рассматриваемых с определенных критических позиций.

Помимо глубинных парадоксов, картины содержат парадоксы иного рода. Так, корабль вовсе не надо писать в натуральную величину, чтобы он был *воспринят* как корабль естественных размеров. И если такой рисунок (или трехмерная модель) виден одновременно и в своем подлинном размере и в размере натуральных масштабов, перцептивный парадокс налицо.

Мы имеем право сказать, что картина парадоксальна, а не просто необычна, когда она содержит информацию, несовместимую в *пространстве*. Если же в одной композиции совмещены совершенно не связывающиеся в единое целое объекты или части разных предметов соединены в один невероятный составной объект, но по всем правилам передачи пространства, то такой объект не является *логически* невозможным (рис. 43). Так, выражение «хилый силач» содержит парадокс, в то время как «стеклянная гора» обозначает просто маловероятный или даже логически невозможный объект.

Одни парадоксы могут быть решены однозначно, другие - нет. Когда парадокс возникает вследствие того, что была принята некоторая противоречивая информация, решить парадокс нельзя,



**Рис. 43.** В этом рисунке нет комбинации *логически несовместимых* элементов, тем не менее совмещение их в высшей степени невероятно. Люди-деревья не существуют в природе, и наше представление о предметах восстает против такого сочетания. Мы можем «прочсть» часть рисунка как руку *плюс* ветвь, палец *плюс* сучок. Автор (Иероним Босх) изощренно пользуется нашим репертуаром запасенных в опыте объект-гипотез

не отбросив части информации. Но последнее не есть, в сущности, решение парадокса, а всего лишь - изменение задачи. Поддаются решению только те парадоксы, которые обязаны своим происхождением неудачной перцептивной гипотезе. Парадокс исчезает, если мы способны, например, увидеть «невозможный треугольник» в его подлинной трехмерной форме, совершенно непохожей на то треугольное изображение,\* которое получается при наблюдении из критической позиции. Это изображение мы тогда воспринимаем как особый случай, включенный в общую перцептивную гипотезу о форме объекта; тогда гипотеза остается справедливой для *любой* позиции наблюдения. Наиболее близка к «истине» та гипотеза, принятие которой не сулит сюрпризов в новых ситуациях.

Теперь должно быть ясно, что, применяя слово «парадокс» по отношению к картинам, мы не просто взяли звонкое словечко из лексикона споров и научных эссе. Восприятие — своего рода мышление. И в восприятии, как и в любом виде мышления, достаточно своих неоднозначностей, парадоксов, искажений и неопределенностей. Они водят за нос даже самый разумный глаз, поскольку именно они являются причинами ошибок (и сигналами ошибок) как в наиболее конкретном, так и в наиболее абстрактном мышлении.

Мы можем рассматривать эти симптомы ошибок восприятия — парадоксы, неоднозначность, неопределенность и искажение — как указания на способы, которыми пользуется мозг, чтобы совершать прыжки от паттернов сенсорной информации к столь отличным от них воспринимаемым объектам. Когда прыжок совершается в неверно выбранном направлении и приземление происходит совсем не в том месте, мы можем, изучив происшедшее, узнать кое-что о стратегии выбора, свойственной работе воспринимающего мозга. Исследование ошибок нашего зрения позволяет нам увидеть то, что порождает их, заглянуть в работу самой сложной функциональной системы на Земле, почувствовать хотя бы очертания процесса, решающего проблемы, недоступные пока ни одной вычислительной машине, — проблемы, возникающие каждый раз, когда глаз видит предмет или картину.

### Неопределенные фигуры

Итак, мы пришли к заключению, что картины не слишком хорошо отображают структуру трехмерных предметов, если работает монокулярное, а не стереоскопическое зрение.

До сих пор мы рассматривали прямо и в разных проекциях только один предмет -- каркасный куб. Это удобно при изучении грубых искажений, так как у простой правильной фигуры легче оценить неравенство разных частей и таким образом сразу узнать, искажена ли она и как именно. Но что произойдет, если взять не правильную фигуру, подобную кубу, а какую-нибудь незнакомую, да еще и случайной формы, например ветку дерева? Она может иметь в натуре различную форму; что перед нами часть дерева, мы, конечно, узнаем, но ведь точная структура каждого дерева неповторима, так что заранее мы не можем ни знать, ни угадать форму данной ветки.

Нам следует выбрать методику для проведения опытов по исследованию точности восприятия различных проецируемых изображений случайных и незнакомых объектов. Как провести такие опыты? Надо, по-видимому, попытаться каким-то образом отобразить структуру объекта, предусмотрев в то же время способ выявления ошибок восприятия, позволяющий точно описать эти ошибки. Такой метод существует.

Мы выдвинули предположение о том, что «правильно видеть» -- значит выбирать такие перцептивные гипотезы, которые не только удовлетворяют сиюминутным фактам, но и дают предсказание о будущих событиях. Описывая восприятие как процесс выбора «гипотез об объектах», мы не заимствуем легкомысленно понятие «гипотеза» из языка научных исследований. Любая научная гипотеза лишь тогда имеет силу, когда она способна предсказывать будущие события. То же самое должно быть верно относительно перцептивных гипотез; именно их предсказательная сила дает возможность организмам побеждать врагов и природу. Предсказания позволяют планировать действие до того, как настанет время действовать.

Именно предсказательную способность гипотез об объектах мы сможем использовать для проверки правильности этих гипотез.

Если они окажутся не в состоянии предсказать этапы правильно чередующегося ряда событий, значит, основная гипотеза ошибочна, причем ошибка будет именно в том звене, которое даст ложное предсказание. Поэтому мы сможем использовать успех или ошибочность предсказания как признак пригодности или непригодности перцептивной гипотезы.

Но как реализовать эту идею? Можем ли мы создать достаточно простую ситуацию, позволяющую нам обнаруживать ошибки перцептивных предсказаний?

Рассмотрим только один определенный тип перцептивных ошибок. Возьмем случай плоскостной проекции -- двумерную картинку. Пусть ее удастся интерпретировать (увидеть) правильно -- как изображение структуры трехмерного объекта; позволит ли это *предсказать проекцию, которая будет получена с новой точки наблюдения!* При таком подходе мы получаем прямое указание на способ, с помощью которого сможем исследовать предсказательную силу гипотез об объектах. Если новая проекция объекта удивит нас, значит, предшествующая гипотеза об объекте была ошибочной.

Нельзя допускать, чтобы между двумя опытами -- начальным и последующим -- прошло значительное время, иначе искажения в запоминании могут оказаться ответственными за неожиданный вид объекта при рассматривании его с новой позиции. Перерыва между обоими опытами нужно избегать еще и для того, чтобы любая неожиданность, любое непредвиденное различие между восприятиями объекта в первом и втором опытах были совершенно ясны наблюдателю.

Поэтому начнем с проекции трехмерного объекта и применим нашу методику теневой проекции. Но только будем *постоянно вращать* объект. Так мы получим непрерывно изменяющуюся, но периодически повторяющуюся проекцию объекта.

Если восприятие объекта на основе проецируемого изображения окажется верным, то при всех изменениях проекции мы должны видеть один и тот же объект. Если же форма объекта, воспринимаемая по его проекциям, *меняется*, значит, восприятие ошибочно, по крайней мере по некоторым из проекций.

Укрепим наш объект (каркасный куб, «ветвь дерева», решетку, подобную скелету кристалла, или просто изогнутый кусок проволоки) отвесно на продолжении вала маленького мотора с надежно регулируемой скоростью вращения. Придадим объекту медленное вращение. Установим проектор так, чтобы теневая проекция объекта была четко видна на экране. Будем наблюдать меняющуюся теневую проекцию объекта. Что при этом произойдет?

Самый интересный (даже странный) эффект получится, если объект будет не известной наблюдателю формы (скажем, изогнутый кусок проволоки). В течение некоторого времени мы, вероятно, будем видеть просто некую вращающуюся форму, все элементы которой поворачиваются с одинаковой скоростью и в одном направлении. Воспринимаемый объект похож на подлинный: виден жесткий, изогнутый «проволочный» предмет, медленно поворачивающийся вокруг оси. Но внезапно он невероятным образом изменится: его части обретут собственное независимое «существование». Некоторые из них начнут вращаться быстрее, другие - медленнее; углы станут меняться, отдельные отрезки изображения уподобятся медленно извивающимся конечностям; перед нами окажется уже не жесткая мертвая форма, а ожившая структура, полная собственного внутреннего движения (рис. 44, см. цветную вкладку).

Видя, что согнутая под углом часть проволоки извивается, вместо того чтобы вращаться при неизменном угле сгиба, как положено элементу жесткого предмета, мы узнаем, что восприятие ошибочно — проецируемое изображение интерпретировано неверно. Только в тех случаях, когда объект-гипотеза соответствует подлинному объекту, зрение правильно отображает объект как неизменяемую, но вращающуюся структуру. Стереозрение дает именно такой эффект — форма незнакомого предмета не меняется при его вращении. Рис.45 (см. цветную вкладку), если рассматривать его через цветные очки, позволяет кое-что узнать об этом эффекте.

Возьмем каркасный куб; его геометрия проста и форма нам хорошо знакома; при вращении он все время воспринимается - даже одним глазом — как объект неизменной формы, несмотря

на то что и в этом случае глаз получает только плоскую проекцию (рис.46, см. цветную вкладку). В то же время куб будет самопроизвольно «перевертываться» в глубину и с каждым перевертыванием видимое направление вращения куба будет меняться на противоположное. Это и понятно — для однозначного восприятия глубины не хватает сенсорной информации (плоская проекция куба здесь не более информативна, чем в том случае, когда куб Неккера нарисован на бумаге); что же касается видимого направления вращения, то оно неразрывно связано с доминирующей в данный момент гипотезой о глубинном расположении граней куба и потому меняется с изменением этой гипотезы. Такие неоднозначности устраняются стереозрением (рис. 47, см. цветную вкладку).

Выясним теперь, что произойдет, если мы уберем некоторые части куба, оставив, например, только одну грань и несколько ребер либо только часть одной грани и т. д. Если нам удастся узнать, какую часть объекта нужно сохранить, чтобы объект воспринимался устойчиво (то есть чтобы при изменении проекции сохранялась видимая форма), мы сможем установить хотя бы некоторые основные элементы объект-гипотезы, а это значит, что мы определим часть блоков, из которых строится восприятие. Ниже следуют некоторые результаты, полученные буквально во всех испытаниях взрослыми наблюдателями (для которых куб — привычная фигура, процедура опыта достаточно обыкновена и т.д.).

*Куб, лишенный двух ребер* (рис. 48 и 49, см. цветную вкладку), все еще выглядит как устойчивый прочный объект, имеющий форму куба. Ясно, что в этом случае избираемая объект-гипотеза соответствует именно кубу. Добавление стереозрения дает небольшой эффект: главным образом остановку перевертываний в глубину и устранение связанных с ними изменений воспринимаемого направления вращения.

*Две противоположащие грани, соединенные одним ребром* (рис. 50 и 51, см. цветную вкладку), воспринимаются весьма любопытным образом: оба квадрата остаются квадратами, но лежащими не в параллельных плоскостях. Каждый квадрат вращается в свою сторону; неподвижной остается только точка - - в той вершине

ребра, к которой «подвешен» каждый квадрат; иногда оба квадрата вращаются в одном направлении, иногда — в противоположных. В отдельных случаях наблюдателю кажется, что оба квадрата повернуты к нему и скользят один относительно другого. Фактически все это время фигура вращается как целое. Ясно, что перцептивная гипотеза, соответствующая кубу, уже отклонена.

Включение стереозрения в этом случае устраняет перечисленные ошибки восприятия; виден один неменяющийся, вращающийся объект -- два параллельных квадрата, соединенные отрезком прямой и воспринимаемые как часть куба.

*Одна грань и одно ребро* (рис. 52 и 53, см. цветную вкладку) выглядят как практически самостоятельные части картины; грань остается квадратной, но ребро редко воспринимается под прямым углом к этому вращающемуся квадрату, оно ведет «самостоятельное существование». Очевидно, гипотеза о кубе совсем отставлена и вместо нее взята гипотеза о квадрате (вращающемся). Ребро, фактически соединенное с этим квадратом, явно не включено в данную гипотезу, поскольку его видимое движение никак не связано с видимым движением квадрата. Из этого следует, что никакого допущения об угле (фактически прямом) между ребром и квадратом вообще нет в гипотезе.

Включение стереозрения приводит к четко воспринимаемой связи ребра с квадратом, так что теперь они видны как один вращающийся жесткий объект.

*Часть грани* (рис. 54 и 55, см. цветную вкладку). Удалим часть последней грани, оставив только один правый угол квадрата. Теперь утрачивается и перцептивная гипотеза квадрата. Возникают две новые перцептивные объект-гипотезы, совершенно разные и сменяющие друг друга попеременно, с внезапными и систематическими переходами, обусловленными вращением фигуры, причем фактически ни одна из этих гипотез не верна. Когда плоскость объекта приближается к нормали по отношению к экрану, перестает восприниматься вращение; вместо этого кажется, будто лучи угла сходятся и расходятся наподобие лезвий ножниц; лишь

сойдясь почти вплотную, «ножницы» внезапно начинают вращаться, причем видимый угол между лучами воспринимается неизменным и притом значительно меньшим, чем истинный (примерно 30 градусов вместо 90 градусов).

Включение стереозрения снимает обе ложные перцептивные гипотезы; фигура видна правильно, форма угла и скорость его вращения воспринимаются как постоянные. Такой результат несколько неожидан; дело в том, что прямые углы, хотя и служат, по-видимому, основой для шкалы субъективной оценки размеров, не являются основой для построения объект-гипотез (насколько позволяет судить об этом данная методика).

Мы пока только пробуем установить характерные особенности перцептивных гипотез об объектах, пользуясь свойственной этим гипотезам силой предсказания как показателем тех «блоков», из которых состоят гипотезы. Хотелось бы подробнее узнать о том, какие стадии развития проходят эти гипотезы в период «детства», какие особенности гипотез зависят от культуры, какие «блоки» отбираются и, главное, каким образом осуществляется отбор и «сборка» блоков и как этот процесс переходит в восприятие. Быть может, приведенное выше краткое описание нескольких опытов, сделанных с помощью одной только методики, окажется достаточным, чтобы показать всю удивительную силу простого методического приема, которым мы располагаем для изучения основной проблемы зрительного восприятия: способов формирования предположений, гипотез, необходимых разумному глазу для того, чтобы воспринять мир предметов на основе всего лишь мимолетных, текучих оптических паттернов.

*Включение в опыт второго глаза* приводит к тому, что почти все вращающиеся объекты воспринимаются без внутренних пертурбаций формы образа. Добавочная стереоинформация о глубине, как правило, оказывается достаточной для верного решения проблемы восприятия пространственных отношений. Тем не менее мы знаем, что натуральный куб иногда воспринимается перевернутым - и не только при стереопроекции, но и при прямом наблюдении куба двумя глазами. Точно так же фигуры, имеющие явно выражен-

ные, но неоднозначные признаки глубины (например, сходящиеся в перспективе прямые), при стереопроекции могут оказаться воспринятыми неправильно. Иногда полагают, что стереоинформация решает все вопросы восприятия трехмерной структуры, но это неверно. Выраженная перспектива продолжает доминировать и над стереозрением, а «переворачивание» фигур в глубину (если эти фигуры неоднозначны по глубине) может иметь место даже при участии стереозрения.

Сознание отвергает стереоскопическое ощущение глубины, когда возникающее на стереооснове восприятие слишком противоречит привычному. Яркий пример тому — восприятие изображений вывернутой наизнанку головы, например внутренней поверхности отливочной формы или гипсовой маски. Сознание отвергает такие вывернутые наизнанку формы: воспринимается нормальная выпуклая голова, обычное лицо, хотя стереозрение дает то, что соответствует истинной форме реальных вещей. По-видимому, несмотря на отсутствие многозначности в сигналах о глубине, поступающих от стереозрения, они все же не принимаются как окончательные при восприятии структур. Стереозрение позволяет разрешить неоднозначности и неопределенности лишь при наблюдении незнакомых фигур, в отношении которых нет заранее подготовленных перцептивных гипотез; против гипотез, степень вероятности которых очень высока, свидетельство стереозрения не принимается.

Важно отметить, что объект-гипотеза не включает информации об определенном расстоянии, специальной ориентации, движении или размерах наблюдаемого объекта. (Последнее верно, за исключением особых случаев, к которым относится, например, Луна: она видна всегда и всем, кроме, правда, космонавтов, под одним и тем же углом.) Главное наше положение состоит в том, что именно для получения этих параметров используются различные сигналы о глубине, включая стереоинформацию, причем используются зрительные данные текущего отрезка времени, поскольку они не содержатся «внутри» хранимой в памяти перцептивной гипотезы. И в тех случаях, когда сиюминутные сенсорные данные несовместимы с прочно укоренившейся гипотезой, эти данные могут оказаться отвергнутыми. Такова сила

«перцептивного предрассудка» по отношению к сенсорным «фактам». И все же предпочтение, отдаваемое накопленным ранее сведениям, может оказаться фактором, повышающим надежность восприятия, поскольку текущая информация нередко оказывается менее полной и точной, чем та, что запечатлена в прошлом опыте. На это и намекает старая шутка, популярная в среде ученых: «Не лезь ко мне с фактами, от них может пострадать моя теория». И в науке, и в восприятии такая стратегия может быть хороша для начала, ибо первые данные часто бывают не очень определенными и первые факты интерпретируются нередко неверно.

В особенности интересно то, что плоские проекции (включая ретинальные изображения) принимаются нами в качестве производных от реального объекта, несмотря на то что фактически конкретная объект-гипотеза неточна. Например, глядя на дерево, мы видим конкретный объект -- дерево, хотя и не можем точно сказать, как распределены его ветви в пространстве (рис. 56, см. цветную вкладку). Структура объекта не представлена в мозге детально, и все же объект классифицируется правильно: дерево. Плоской проекции достаточно, чтобы выбрать объект-гипотезу (дерево) и даже определить вид, к которому принадлежит это дерево, но структура данного конкретного дерева не включена в состав общей перцептивной гипотезы. Чтобы классифицировать дерево, стереозрение нам не потребуется, но зато оно окажется чрезвычайно полезным для того, чтобы благополучно взобраться на это дерево (рис. 57, см. цветную вкладку). Нам порой кажется, будто мы видим объект или картину очень детально и пространственно точно, но такое ощущение нередко оказывается очень далеким от истины, поскольку оно может возникнуть на основе весьма противоречивых допущений.

Точность восприятия пространственных отношений между объектами или частями объекта часто необходима, особенно в инженерном деле, где очень важно уметь пространственно точно отображать структуру на рисунках и чертежах. Мы знаем уже, что стереозрение может сильно помочь в таких случаях, в особенности когда детали структуры не содержатся в рамках

конкретной объект-гипотезы. Так почему бы нам не включить стереозрение в рассматривание картин? Почему бы не начать рисовать в трех измерениях? Эту возможность мы подробно обсудим позднее. А пока рассмотрим еще один вид перцептивных ошибок, возникающих при восприятии отдельных картин и предметов: ошибки искажения формы. Такой поворот темы приводит нас к некоторым, весьма запутанным проблемам; поэтому нам придется потратить немного времени на изучение вопроса о том, почему в определенных ситуациях — нередко знакомых и к тому же на первый взгляд простых — зрительные восприятия искажаются.



## Фигуры, содержащие искажения формы

Мы уже обнаружили, что картины и предметы — не меньше, чем утверждения, выраженные письменно или устно, — могут оказаться парадоксальными, неоднозначными или неопределенными. Кроме того, они могут выглядеть искаженными.

Зрительные искажения часто называют просто «иллюзиями», но не следует забывать, что есть большое число иллюзий, не имеющих отношения к зрению. Искажения могут возникать в связи с самыми разными типами чувствительности: температурной, вкусовой, слуховой (громкость и высота звука), зрительной (яркость, цвет, скорость движения и т.д.).

Некоторые искажения возникают вследствие утомления сенсорных рецепторов либо при «адаптации» этих рецепторов к длительной или интенсивной стимуляции. Это случается с рецепторами любого типа, и постадаптационные искажения восприятия могут оказаться весьма значительными. Рассмотрим несколько способов возникновения искажений восприятия в результате адаптации разных рецепторов:

### 1. Адаптация к тяжести.

Если держать в руке в течение нескольких минут тяжелый груз, а затем освободиться от него, то вес руки ощутимо уменьшится и она может непроизвольно подняться вверх на десяток сантиметров.

## 2. Адаптация к температуре.

Этот старинный опыт стоит проверить на себе. Поместите одну руку в сосуд с холодной, другую в сосуд с горячей водой; подержите их так несколько минут. Затем переместите обе руки одновременно в сосуд с теплой водой. Несмотря на то что теперь на обе руки действует одинаковая температура, та рука, которая была раньше в горячей воде, ощущает холод, а другая воспринимает тепло — одна и та же вода кажется одновременно и горячей и холодной. Интересно, что при медленном подогреве (или охлаждении) воды — настолько медленном, что помещенная в сосуд рука не ощущает изменения температуры, — феномен адаптации все же действует: искажение происходит так же, как было описано выше, хотя адаптация остается неощутимой, неосознаваемой.



**Рис. 58.** Предварительная экспозиция в холодной и горячей воде вызвала направленную адаптацию рук, изменив состояние измерительного аппарата в каждой из них, — поэтому в дальнейшей стадии опыта температура, действующая на кожу обеих рук, оценивается неверно. Мозг не отвергает парадокса, и мы испытываем парадоксальное ощущение, хотя сознаем, что соответствующее ему событие физически невозможно

3. Адаптация к вкусу. По мере адаптации сладкие и постепенно утрачивают ощущаемую сладость. Подержите у рта в течение нескольких секунд воду, в которой растворено много сахара; попробуйте затем на вкус чистую воду — она покажется вам теперь определенно соленой.

## 4. Адаптация к громкости и высоте звука.

Адаптации такого рода могут оказаться опасными; лучше продемонстрировать их в условиях лаборатории — это не составит большого труда.

## 5. Адаптация к скорости.

Воспринимаемая скорость движения часто искажается при вождении автомобиля: скорость движения 45 километров в час кажется смехотворно малой после получасового непрерывного движения по большой магистрали со скоростью 80-90 километров в час.

Как и при адаптациях других видов, здесь может произойти искажение, имеющее противоположный знак. Если вы понаблюдаете в течение нескольких секунд вращающуюся спираль, показанную на рис. 59 (для чего поместите ее хотя бы на диск проигрывателя грампластинок), то вам покажется, что во время вращения спираль расширяется, а после остановки диска сжимается.



**Рис. 59.** Эффект адаптации к движению содержит парадокс, поскольку спираль одновременно видна как суживающаяся и неизменная в размере. Последствие движения можно перенести и на другие объекты

## 6. Адаптация к яркости.

Адаптация к ярко освещенным участкам дает хорошо известные эффекты, связанные с возникновением зрительных послеобразов — ярких, темных или окрашенных. Если в течение нескольких секунд смотреть на лампу (стараясь совершенно не двигать глазами), а затем перевести взгляд на белую стену или на лист бумаги, эффект адаптации к белому и черному выступит чрезвычайно резко. Адаптация к яркому свету приведет к возникновению соответствующего по форме темного участка, который будет теперь перемещаться вместе со взглядом по серому полю.

Эффекты, зависящие от возникновения яркостных и цветовых послеобразов, понятны в настоящее время довольно хорошо. Если фиксировать взгляд на красной птице (рис. 60, см. цветную вкладку), то наступит уменьшение чувствительности светоприемников сетчатки на том участке, где формируется изображение птицы. Если вместо рисунка использовать светящийся объект, снижение чувствительности будет еще более резким. Переведя взор на равномерно освещенную поверхность, мы увидим участок, который соответствует ранее засвеченной зоне сетчатки, более темным - в результате того, что этот участок, чувствительность которого снизилась во время экспозиции на ярком свете, посылает теперь к мозгу менее сильный сигнал. При этом частота импульсов, идущих по зрительному нерву от ранее засвеченного участка сетчатки, снижена так, как если бы на этот участок и в самом деле проецировалась наиболее темная часть наблюдаемого объекта.

Аналогично объясняются цветовые послеобразные явления. Цвет из сетчатки сигнализируется в мозг (почти наверняка) всего по трем каналам. Имеется три типа «колбочковых» рецепторов, каждый из которых чувствителен либо к красному, либо к зеленому, либо к синему цвету. Белый свет активирует все три цветовых канала, и определенное соотношение активности трех каналов «означает» белизну. Относительная активность красного света больше в «красном канале», зеленого — в «зеленом канале», синего — в «синем канале». Разные соотношения активности этих трех каналов соответствуют ощущениям всех цветовых оттенков. «Трехканальность» цветовоспринимающей системы зрения обусловила возникновение (да и саму возможность реализации) цветной фотографии и цветного телевидения с помощью трех цветов, грубо соответствующих тем характеристикам света, на которые реагируют три канала цветового зрения человека, три типа ретинальных рецепторов цвета. И если одна или две ретинальные цветовоспринимающие системы адаптированы, то есть утратили часть чувствительности в результате долгой экспозиции к окрашенному свету, то мозг воспримет такой сигнал, который соответствует свету, имеющему окраску, дополнительную к окраске света, вызвавшего адаптацию. Поэтому мы видим дополнительный цвет в послеобразе.

С помощью мощной электронной лампы-вспышки можно создать на сетчатке весьма впечатляющий фотографически детальный послеобраз. После того как вспышка такой лампы осветит темную комнату, еще в течение нескольких секунд комната будет видна во всех деталях и притом настолько живо и четко, что послеобраз может быть ошибочно принят за реальную комнату, пока наблюдатель не переведет взгляд или послеобраз не потускнеет.

Эффекты, связанные с возникновением последовательных образов, объясняются в основном изменением чувствительности в сетчатке; не исключено, однако, что при длительном или сильном воздействии световых раздражителей на глаз наступают некоторые изменения и в проекционных зонах мозга.

Другой эффект, происхождение которого менее ясно, также, по-видимому, связан с состоянием сетчатки — это возникновение цвета под действием мелькающего белого света. Если вы вырежете диск (с. 235) и станете вращать его (например, на проигрывателе грампластинок), на диске постепенно проступит цвет. В зависимости от скорости и направления вращения диска цвета будут меняться. Перед вами на рис.61 диск

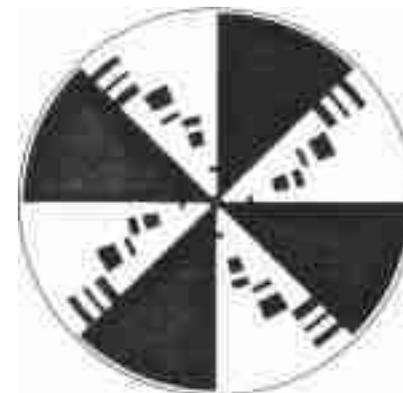


Рис.61. Диск Бэнхема

Бэнхема. Автор первоначально получил эффект с черно-белым волчком. Объяснение эффекта заключается скорее всего в том, что три ретинальные системы цветоощущения обладают, если говорить на языке электроники, различными временными константами. Вращающийся диск осуществляет прерывистую стимуляцию рецепторов цвета. Вполне возможно, что рецепторы, чувствительные к красному, зеленому и синему цветам, имеют несколько различающиеся временные константы, и поэтому периодические вспышки света вызывают различную по уровню активность в трех системах цветоощущения, а для мозга такая сигнализация равносильна сигнализации о цвете. Эту иллюзию преодолеть невозможно, так как

в обоих случаях сигналы, идущие от глаз, идентичны. Если диск Бэнхема «показать» телевизионной камере, то на экране телевизора также возникнет (объективное) нарушение цветового равновесия. Эти изменения цвета по меньшей мере столь же сильны, как и при прямом наблюдении диска Бэнхема, что объясняется тождеством физических причин обоих эффектов — видимого глазом и «наблюдаемого» телевизионной камерой.

Описанные искажения (за исключением, пожалуй, эффектов движения) возникают вследствие адаптации на уровне периферических приемников органов чувств, точнее говоря, из-за того, что *сенсорные преобразователи энергии теряют настройку*. Что касается работы мозга, получателя информации, то его положение, пожалуй, можно сравнить с положением фотографа, оставившего фотоэкспонетр на солнце, после чего прибор неизбежно утратил свою чувствительность, либо с положением техника, допустившего, чтобы его измерители расширились под действием высокой температуры. Когда преобразователи и измерители начинают давать иной ответ при воздействии неизменного сигнала, ошибки шкалирования измерений возникнут неизбежно — неверным будет масштаб; такие ошибки могут быть исправлены лишь с помощью другого источника информации, который, кстати, привлекается и в том случае, когда сигналы первого источника слишком маловероятны. Об адаптациях, дающих описанные эффекты, можно сказать, что они являются следствием *нарушений калибровки сигналов*.

Чрезвычайно странные эффекты возникают при адаптации одного из двух параллельных сенсорных каналов. Например, последствие движения — эффект, возникающий при наблюдении вращающейся спирали, — содержит парадокс: мы видим движение («расширение») в направлении, противоположном действию адаптирующей стимуляции (это и есть последствие), и в то же самое время мы видим, что спираль не меняется в размерах (как и любой другой объект, наблюдаемый в период последствия). Расширение, происходящее одновременно с сохранением постоянных размеров, — вещь невозможная в мире физических объектов; потому этот эффект парадоксален.

Нечто подобное может произойти и в жизни, например при определении скорости движения автомобиля. Скорость можно вы-

числить, заметив расстояние, пройденное в определенный промежуток времени; величину скорости можно узнать и по показаниям спидометра. Представьте себе, что вы пользуетесь обоими способами, причем один из приборов — либо спидометр, либо суммарный счетчик пройденного пути — дает неправильные показания. Не зная этого, мы обнаруживаем, что в одно и то же время путешествовали с разной скоростью, а если спидометр просто не работает, то получится, что в одно и то же время мы двигались и стояли на месте. Однако в таких случаях мы приходим к заключению совсем другого рода, то есть предполагаем, что один из приборов дает неверные показания. Мозг же далеко не всегда поступает подобным образом с противоречивой сенсорной информацией: хотя информация, поступающая по параллельным каналам, и содержит иногда противоречие, она учитывается, выступая в восприятии «на равных правах». Таким образом возникают парадоксы, в том числе и те, что приводят к искажению восприятия. Так мы начинаем понимать, что мозг, работающий над интерпретацией сенсорных данных без помощи извне, подобно «засекреченному ученому» существенно ограничен в своих достижениях.

Парадоксы такого рода возникают только в тех случаях, когда информация притекает по различным параллельным каналам. Цветоощущение есть пример одноканальной системы, состоящей из трех видов рецепторов, соотношение активности которых определяет ощущаемый цвет. В этом случае адаптация приводит лишь к изменению цвета, но к парадоксу — никогда. Мы не можем увидеть какой-либо предмет одновременно целиком красным и целиком зеленым — не потому, что реальные предметы никогда не бывают такими (как объяснили это некоторые философы), а потому, что глаз не способен передавать мозгу неоднозначную информацию о цвете.

Названные эффекты искажения имеют периферическое происхождение, так как возникают вследствие изменений чувствительности сенсорных рецепторов — преобразователей притекающей извне физической энергии в нервные сигналы. Явления сенсорной адаптации возникают очень легко, а вызванные ими искажения восприятия чрезвычайно трудно преодолимы и, следовательно, потенциально опасны. Возникает вопрос, не является ли неустой-

чивость сенсорных преобразователей своего рода слабым звеном физиологической машины. Но, быть может, легкость, с которой наступает адаптация к неизменному физическому воздействию, все же имеет какой-то глубокий смысл? Например, болевые рецепторы сравнительно мало адаптируются (потому-то зубная боль и не притупляется!), значит, адаптация рецепторов — не обязательное явление. Одно из возможных объяснений, которое мы заимствуем из приборостроения, заключается в предположении, что адаптация предохраняет систему от более серьезных погрешностей, которые неизбежно возникли бы вследствие дрейфа, свойственного любой преобразующей системе, если последняя предназначена для генерирования постоянного ответа на неизменный сигнал, то есть если система гальванически спарена. Электронные устройства часто обладают недостатками такого рода. Всюду, где возможно, инженеры используют цепи, спаренные по переменному току. Такие цепи хоть и проявляют адаптацию, то есть утрачивают длительно поддерживаемый устойчивый сигнал, но зато не дают ложных сигналов, возникающих при дрейфе составляющих. Для болевой системы важно передать: есть боль или нет боли; для такого рода систем нет надобности в «спаривании по переменному току».

Рассматривавшиеся нами искажения восприятия нарастают во времени как результат «адаптации» или «утомления» рецепторного механизма, и мозг получает измененный сигнал. Есть, кроме того, поразительные эффекты зрительных искажений, которые не нарастают, а возникают мгновенно. Они необычайно реалистичны, практически неизменны при повторениях и почти одинаковы для всех, кто их когда-либо наблюдал. Многие из них знакомы еще по детским книгам. От них часто отмахиваются, как от пустяков, и лишь некоторые монографии по восприятию трактуют их всерьез. Это, несомненно, важные эффекты, хотя бы просто потому, что они прекрасно воспроизводимы. В истории науки не раз бывало так, что эффекты, на первый взгляд пустячные, использовавшиеся только для изготовления игрушек, затем вели к решению глубоких научных проблем. Систематические искажения, возникающие под действием некоторых форм, раскрывают

такие процессы восприятия, которые нельзя не отнести к наиболее интересным.

Искажения эти затрагивают размеры и форму. При иллюзиях искажения фигур одни линии кажутся удлиненными, другие — укороченными, третьи — согнутыми или даже смещенными в сторону. Ошибка иногда составляет 30 % и даже больше, то есть имеет порядок величины, вполне значимый для практики.

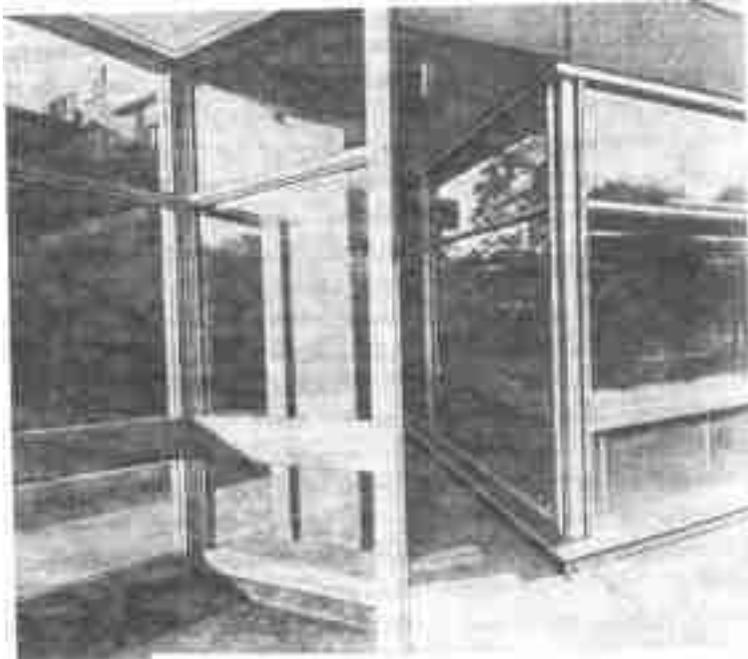
В некоторых случаях иллюзорные фигуры удивительно просты; такова, например, наиболее знаменитая из них — «стрелы» Мюллера-Лайера (рис.62). Здесь нет ни «танцующих» периодических линий, ни странных незнакомых форм — вообще ничего замаскированного или припрятанного. Стоит просто добавить к черточке наконечники стрел, чтобы черточка стала на вид короче, а если к этой же черте прибавить оперение стрел, она станет длиннее. Почему? Каким образом такие простые и понятные глазу элементы формы обманывают глаз? И что здесь обманывается — рецепторы сетчатки, связи этих рецепторов между собой или мозг? Прежде чем взяться за решение этой непростой задачи, подумаем, как объективно измерить такие искажения восприятия.

Ошибки в оценке длины можно вполне точно измерить, используя как эталон «нейтральную» линию, длину которой следует менять до тех пор, пока она не покажется такой же, как длина искаженной линии. Измерив затем одной и той же линейкой эталонную и искаженную линии, мы получим величину искажения, причем эта величина будет верной даже в ситуации иллюзии, когда сама линейка воспринимается искаженно. Показания линейки будут прочитаны правильно, если ее поместить вплотную к измеряемой линии. На рис. 65 мы видим, как выглядит линейка, помещенная на искаженную фигуру, тем не менее ее показания прочитываются правильно.

Некоторые искажения удается измерить, перерисовав фигуры так, чтобы они не казались искаженными. Рис. 64 показывает иллюзию «стрел», но длины фигур здесь *действительно* различны, что можно проверить с помощью линейки. Этот метод измерения называется «уравниванием». Как и во многих других научных следованиях, он чрезвычайно полезен при изучении восприятия. <sup>1^ес</sup>ь, однако, возникает одна трудность.

#### 4. Фигуры, содержащие искажения формы

**Рис. 62.** Пара фигур Мюллера-Лайера, дающая иллюзию «стрел». Вертикальные отрезки прямых - «древки стрел» — на самом деле имеют одинаковую длину, но «оперения стрел» увеличивают, а «острия стрел» уменьшают кажущуюся длину отрезков. Необычность этой фигуры состоит в том, что искажение заключено в ней самой; в большинстве других иллюзий фон искажает нанесенные на него линии или иные геометрические элементы



**Рис. 63.** Аналогичное искажение получается на картинах и фотографиях с хорошо выраженной перспективой

#### 4. Фигуры, содержащие искажения формы

**Рис. 64.** Фигуры, содержащие иллюзию Мюллера-Лайера. Длины отрезков здесь подобраны так, чтобы отрезки казались одинаковыми. Этот способ позволяет измерить величину искажения

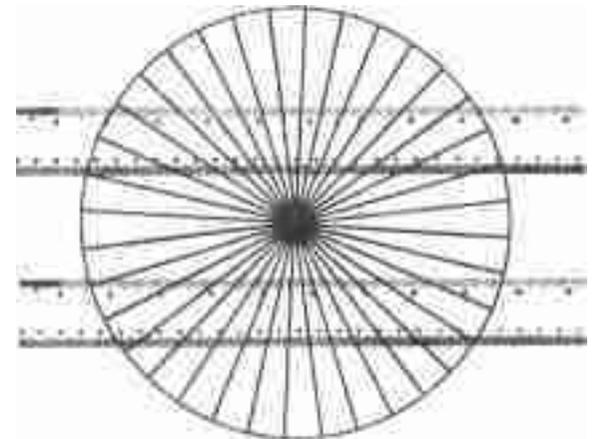


kiiiiAÉ

**Рис. 65.** Линейка искажена: на ее видимую длину влияет фигура, содержащая иллюзию. Измерение все же удается, если линейку расположить вплотную к фигуре



**Рис. 66.** Изогнутая линейка — предмет маловероятный, и все же мы видим линейку изогнутой. Совершенно ясно, что такие иллюзии возникают не просто потому, что внутренняя вероятность образа перевешивает свидетельство ретинального изображения



После «искажения» фигуры глаз получает уже не те сигналы, которые получал до этого. Как мы можем оценить влияние такого изменения на воспринимающую систему? Вряд ли влияние будет значительным, но прежде чем утверждать это, нужен опыт. Возникшая ситуация аналогична принципиальному затруднению, получившему в физике имя принципа Гейзенберга: акт измерения может изменить само измеряемое явление. Даже способ измерения с помощью нейтральной линии небезупречен, поскольку первоначальная иллюзорная фигура не содержит этой дополнительной линии. О подобных затруднениях надо помнить, но зрительные искажения следует продолжать измерять с уверенностью, порождаемой именно простотой применяемых методов.

#### **Где находятся искажения — в глазах или в мозгу?**

Нередко бывает очень трудно установить, где именно в нервной системе локализована данная функция (либо нарушение этой функции — временное или постоянное). То же самое справедливо и в отношении некоторых технических систем. Возьмите, например, водопровод или систему водяного отопления: воздушная пробка может быть где угодно. Опытный водопроводчик способен догадаться, что пробка локализована не на прямом участке трубы, а на одном из ее сгибов; поочередно закрывая одни краны и открывая другие, он может определить и тот сгиб, где находится пробка. Но чтобы сделать это, он должен составить в уме (или на бумаге) модель системы и придать ей определенные общие принципы организации (например, что вода течет сверху вниз, что она стремится выровнять свои уровни, что горячая вода образует пар, который и может создать пробку, если термостат не в порядке или неверно установлен). Диагностика погрешностей отопительной системы — сравнительно простая вещь, потому что возможные источники неполадок немногочисленны и есть несколько довольно простых способов прямо установить их причину (включая постукивание по подозритель-

ным местам — прием, не чуждый также инженерам-электроникам и невропатологам!).

Связи в нервной системе столь многообразны, что неполадки в одной ее части могут отразиться на другой, подчас весьма удаленной области системы, которая на вид функционирует совершенно независимо от первой, а на самом деле очень тонко связана с ней. Но даже в тех чрезвычайно немногочисленных случаях, где цепь процессов, протекающих вдоль одного и того же нервного пути, ясна, локализовать дефекты этого пути очень трудно. Помимо технических трудностей, связанных с регистрацией активности в нервной системе, имеются и другие сложности, например на удивление нелегкие вопросы трактовки регистрируемых данных: ведь помимо всего прочего, мы далеко не всегда знаем назначение каждой физической части изучаемой системы. Водопроводчику нужно знать хотя бы простейшие принципы работы узлов системы, иначе ему не установить даже источника элементарных неполадок. Многие основные процессы, протекающие в нервной системе, нам совершенно неизвестны — и потому очень трудно локализовать функции. Но прежде чем начинать думать об их локализации, следует определить функцию, понять ее. При этом для понимания частей, их особенностей и связи между ними чрезвычайно важна вся концепция системы, выраженная в виде целенаправленной модели целого. К примеру, мы довольно уверенно описываем снижение чувствительности рецепторов сетчатки в качестве причины возникновения послеобразов, так как понимаем функцию рецепторов (улавливание квантов и преобразование энергии света в зрительные сигналы). Но как нам разобраться в иллюзиях искажения, если мы не представляем, какого рода функциональные связи обеспечивают восприятие?

Прежде всего полезно было бы узнать, где возникают искажения: в глазах (быть может, в связи с их движением) или в мозгу. Проведение опытов, позволяющих уверенно определить, что иллюзии искажения возникают (во всяком случае, первично) в мозгу, а не в глазах, не требует особенно сложных методик. Это определяется путем предъявления, обычно с помощью стереоскопа, одних

частей фигуры одному глазу, других частей фигуры — другому. Применяют две методики:

- 1) одну часть фигуры — «тест» («искажаемую часть») — показывают одному глазу, а другую часть фигуры — ее «искажающую часть» — другому;
- 2) фигуру разбивают на точки в случайном порядке и делят надвое так, что *ни один глаз* не получает ясно различаемой фигуры; лишь после *слияния (фузии)* сигналов от обоих глаз в мозгу зрительно воспринимается уже не случайный узор из точек, а фигура, содержащая иллюзию.

Если при проведении опыта по любой из этих методик видна вся фигура, а *искажение отсутствует*, мы заключаем, что источник искажения находится в системе каждого глаза (вероятнее всего, в сетчатке). Если же искажение при этом возникает, значит, оно появляется *после* того, как в мозгу произошло слияние информации, поступающей от обоих глаз.

Несколько экспериментаторов (Витасек — в 1899, Оваки - в 1960, Спрингбек — в 1961 годах) проводили такие опыты и нашли, что искажения имеют место, но они значительно слабее выражены. Позднее этот вопрос исследовался Борингом (1961), Деем (1961), а также Шиллером и Винером (1962). Они изучали влияние условий самого стереонаблюдения на изучаемый феномен. Это было необходимо, так как выводы Витасека, Оваки и Спрингбека не опровергали предположения о значительной роли сетчатки в происхождении иллюзии искажения. Такое положение вещей в науке — не редкость; мы знаем, например, что перья падают медленно не потому, что сила тяжести не действует на пух и перо, а потому, что сопротивление воздуха сильно замедляет их падение. Однако сопротивление воздуха вполне может быть истолковано сначала как уменьшение силы тяжести, и потому необходим эксперимент, при помощи которого можно проверить эти две очень разные гипотезы о причинах замедления падения перьев.

Боринг обратил внимание на то, что при стереоскопическом наблюдении иллюзорно искаженных фигур возникает впечатление глубины. Дей доказал, что при этом происходит «соперничество

полей зрения»: фигуры, наблюдаемые каждым глазом в стереоскопе, не всегда сливаются в единую устойчивую фигуру, они как бы колеблются. Эффект такого рода показан на рис. 67 (см. цветную вкладку). Тем самым были предложены два привходящих фактора, которые могли объяснить ослабление иллюзий при наблюдении фигур в стереоскопе. Шиллер и Винер изучали пять иллюзий искажения (рис.68, см. цветную вкладку) в особых условиях стереоскопии, резко уменьшающих как ощущение глубины, так и феномен соперничества полей зрения. Они применяли очень короткие экспозиции. В результате величина наблюдавшихся иллюзий оказалась такой же, как и при обычных условиях наблюдения. Отсюда можно заключить, что, по-видимому, тенденция к глубинному восприятию фигур и (или) соперничество полей зрения действительно уменьшают воспринимаемые иллюзорные искажения фигур и, следовательно, эти искажения возникают в мозге, а не в глазу.

Этот вывод подтверждается с помощью второй из упоминавшихся ранее методик разделения фигур - - когда каждому глазу предъявляют узор, состоящий на вид из неупорядоченного набора точек. Методика эта возникла недавно; ее разработал Бела Юлш, блистательно исследовавший с ее помощью природу стереоскопического зрения. В экспериментах, проведенных по методике «случайный набор точек», иллюзии искажения, включая иллюзию Мюллера-Лайера, оказались полностью сохраненными. Таким образом, мы имеем все основания полагать, что эти иллюзии возникают в мозгу.

Впрочем, последнее заключение мы сделали с чувством некоторой неловкости: слишком много открытых вопросов оставляет такой вывод. Хуже всего то, что мы недостаточно осведомлены о работе мозга и потому не можем точно указать тот процесс, который нарушается при наблюдении фигур, создающих иллюзии. А можно ли понять и объяснить иллюзии, не понимая во всех тонкостях работу мозга? Возвращаясь к аналогиям, можно сказать, что наш случай напоминает положение слесаря-водопроводчика, регистрирующего шум в трубах и ухудшение круговорота воды, но не знающего о том, что к образованию воздушных пробок приводит пар, а значит, не следует ставить термостат на перегрев, если пар может повредить работе отопительной системы.

Возможно, не менее подходящим примером будет случай с учеником телевизионного техника, который пробует объяснить причину искажения телевизионной картинки, не зная того, что ее симметрия задается в системе координат, связанных со строкой и кадром, а искажение последних неизбежно приводит и к искажению изображения.

Продолжим эти примеры-анalogии. Положим, телевизионный техник в самом деле понимает *основные принципы* формирования изображения, но не знает детально *конкретных цепей* телевизора. Мог бы он понять и объяснить искажение картинки? Несомненно, техник будет располагать объяснением, правильным в отношении всех телевизоров с общим принципом работы; однако объяснение не будет содержать указаний на то, какие именно части испорчены и почему порча данной детали телевизора должна привести к нарушению развертки, а следовательно, и к искажению изображения. Но объяснение техника логически удовлетворительно и представляет собой шаг вперед — к детальному знанию неполадок, необходимому для их устранения. Точно так же и мы нуждаемся в понимании общих принципов работы мозга, чтобы верно оценить значение разных его компонентов — конкретных частей, уровней, цепей. Именно в этих общих терминах нам и следует пока стремиться понять иллюзии-искажения, а более конкретное объяснение должно прийти позже, когда станет лучше известна физиология мозга.

Вернемся назад — к вопросу о том, как мы понимаем восприятие. Мы считаем, что восприятие — удивительно эффективный процесс использования явно недостаточной и потому неоднозначной информации для выбора одной из хранящихся в памяти гипотез о сиюминутном состоянии внешнего мира. Гипотезы строятся для ответа на вопросы о том, что представляют собой объекты, какова их величина и какое положение в пространстве они занимают. Особенно важно оценить удаленность объекта от наблюдателя. Расстояние всегда непостоянно (по крайней мере для земных объектов), поэтому удаленность не включается в объект-гипотезу. Отсюда следует, что положение любого объекта в пространстве должно быть выведено из *сиюминутной сенсорной информации*. Опознание объектов упрощено благодаря тому, что

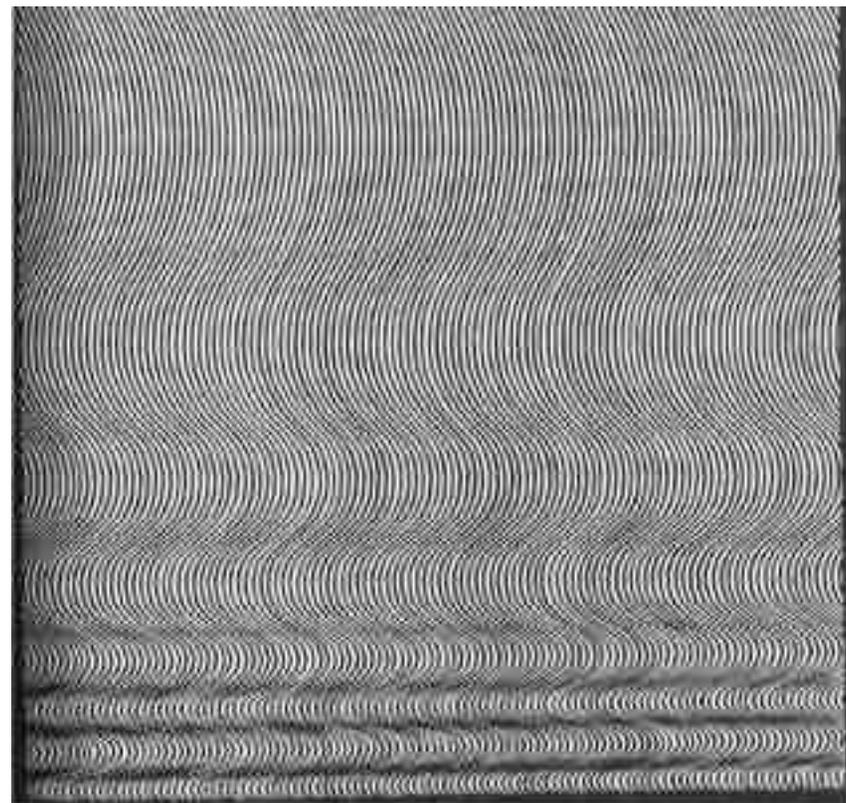
большинство знакомых предметов содержит избыточную информацию. У лица два глаза — но довольно увидеть один из них. А раз виден глаз, значит, возле него должен быть и нос. Если видна голова, значит, рядом — туловище, руки, ноги. Например, кинокадры, показываемые крупным планом, были бы совершенно лишены смысла, если бы не наша способность «присочинять» факты, связывая их с видимыми частями знакомых объектов. Но для оценки размеров и расстояний эта способность ничего не дает. Любой данный объект может иметь несколько размеров и может быть удален на самые разные расстояния. Поэтому *сиюминутная сенсорная информация необходима для формирования шкалы оценки размеров и расстояний*. В том случае, когда по какой-либо причине шкала оценки размеров и расстояний устанавливается неверно, следует ожидать соответствующих искажений в восприятии размера и расстояния. Поэтому стоит разобраться, не связаны ли иллюзии искажения с теми особыми видами сенсорной информации, которые используются для установления шкал воспринимаемых размеров и воспринимаемой удаленности предметов. Возможно, это послужит ключом к проблеме происхождения иллюзий.

Помимо только что намеченного подхода к проблеме, существуют и другие пути ее разрешения. Так, мы могли бы изучать лишь подлинные компоненты и нервные цепи мозга, совершенно не занимаясь теми процессами, которые кажутся нам лежащими в основе работы мозга. (Это было бы похоже на ознакомление с работой вычислительной машины путем изучения ее металлического «тела» при полном незнании ее программ.) Впрочем, часто действительно очень нетрудно устранить неполадки в электронных приборах путем обнаружения и замены сгоревшей детали. При этом совсем не обязательно знать принципы работы прибора или программу, если речь идет о вычислительной машине. Но случай, рассматриваемый нами, не совсем таков. Занимаясь иллюзиями искажения зрительных форм, мы видим перед собой систему, которая работает нормально (за исключением особых случаев, тех, где системе приходится иметь дело с фигурами, принадлежащими к определенному классу). К тому же этот дефект обнаруживают все экземпляры системы (то есть все люди); поэтому его никак



**Рис. 69.** Рисунок Виктора Вазарели (1964). Узор странным образом смещается, меняется. Объяснение здесь, по-видимому, требует привлечения нескольких факторов; определенную роль играют движения глаз, и, кроме того, мозг пытается «организовать» узор разными способами, не останавливаясь ни на одном, ибо ищет предметы и не находит их. Абстрактное искусство можно трактовать как чрезвычайно отвлеченные абстракции гипотез об объектах

невозможно отождествить с «перегоревшей деталью». Существуют, правда, неврологические нарушения зрения, которые, пожалуй, можно сравнить с порчей «деталей» в системе, но в нашем случае такое сравнение не подходит, поскольку мы говорим о «дефекте», который имеют все люди.



**Рис. 70.** Бриджит Райли. Падение. Происхождение эффектов, возникающих при рассматривании таких картин, пока еще во многом загадочно. Безусловно, некоторое значение имеют движения глаз, благодаря которым стимулируются сетчаточные рецепторы движения, а также умножаются повторные удары одних и тех же форм по участкам сетчатки, уже несущим послеобразы; но это наверняка далеко не все

Рассмотрим теперь и возможность нарушений в работе нервной цепи. Всякая цепь может подвергаться перегрузкам. С людьми это тоже случается — в так называемых экстремальных ситуациях. Примеры ситуации, перегружающей зрение, мы видели: эффекты последствий движения, послеобразы, возникающие в результате действия сильной яркости или цвета.

Очень вероятно, что произведения опарта<sup>1</sup> — суть примеры перегрузки нервных (преимущественно сетчаточных) цепей зрительной системы. Эти произведения построены не на систематическом искажении (или нарушении масштаба), а на довольно необычных «дерганых» эффектах, возникающих главным образом при рассмотрении тесно расположенных и многочисленных линий, крайне сильно контрастирующих с фоном.

Одним из первых художников, сумевших живо передать движение, был Ван Гог; мазки его кисти похожи на застывшие вихри. Но одно дело — *передать* движение выразительными средствами, и совсем другое — заставить наблюдателя испытать движение, *ощутить* его. Последнее удастся художникам опарта, особенно Виктору Вазарели (рис. 69) и Бриджит Райли (рис. 70). В их картинах нет и намека на предметность; в них — только конфигурации, паттерны, которые колеблются, смещаются и плывут, иногда слегка, иногда стремительно. Наиболее вероятно, что такие ощущения иллюзорного движения возникают как прямое следствие стимуляции светочувствительных элементов сетчатки глаза, ее детекторов движения, из-за тремора глаз<sup>2</sup>.

Во всяком случае, эти эффекты, по-видимому, возникают в результате «перегрузки» нервных зрительных цепей и в общем сходны с эффектами, возникающими при утомлении или приеме некоторых медикаментов. Это отнюдь не означает, что такие эффекты не представляют интереса для техники живописи; напротив, они могут оказаться сильным инструментом в руках художника, знающего о них и умеющего их использовать для передачи определенных впечатлений и для формирования у зрителя определенных ощущений. Правда, техника опарта позволяет создавать лишь немногие виды кажущегося движения, причем очень трудно, хотя и возможно, сообщить движение поддающимся опознанию изображениям предметов. И все же не исключено, что сильные конфигурации, приковывающие взгляд зрителя своим странным

<sup>1</sup> Опарт (*англ.* optical art) — «оптическое искусство». — *Прим. перев.*

<sup>2</sup> Тремор глаз — произвольные движения глаз, сопровождающие любую зрительную деятельность; частота тремора около 150 герц. — *Прим. перев.*

мерцанием, смещением, сплывом, могут переломить устоявшиеся традиции и помочь нам найти свежий подход к восприятию.

Но вернемся к нашему предмету — к иллюзиям искажения. Может ли быть, что простые, обычные формы, вроде «стрел» Мюллера-Лайера, «перегружают» нервные цепи? Если это так, то такие цепи должны быть очень уж примитивно устроены. А это маловероятно. Пока мы не в состоянии совершенно отклонить такую возможность, хотя она и кажется нам мало правдоподобной, особенно если вспомнить о замечательной работе зрительной системы в целом.

Поэтому мы предположим, что искажения возникают вследствие неверной установки шкал оценки размера и расстояния. По-видимому, первый намек на эту идею дал еще в 1896 году А. Тьери, который предположил, что фигуры с иллюзорным искажением суть «скелетные» (каркасные) перспективные рисунки, содержащие указания на трехмерность фигуры. Так, фигуру Мюллера-Лайера он представлял себе как рисунок предмета, похожего на козлы, повернутые «ножками» прочь от наблюдателя, когда фигура изображала отрезок прямой, обрамленной оперением стрелы, либо «ножками» к наблюдателю, когда этот отрезок ограничивался острями стрел. Другой, более выразительный пример — сопоставление фигуры с тем, как выглядит угол здания на рис. 63. И плоская проекция на бумагу и вид изображения в глазу, который смотрит на какой-либо реальный угол, по форме совпадают с очертаниями фигуры, содержащей иллюзию Мюллера-Лайера. Точно так же иллюзия Понзо совпадает в проекции с уходящими вдаль прямыми, например с рельсами железнодорожного пути (рис. 71-72).

Здесь интересно то, что части фигуры, соответствующие ее *удаленным* компонентам (если принимается перспективная интерпретация фигуры, адекватная миру реальных предметов), кажутся *разросшимися* в фигуре, содержащей иллюзию. Мы ясно увидим это, сравнив каркасные фигуры, дающие искажение формы при восприятии, с фотографиями, где типичные для этих искажений моменты запечатлены в перспективном изображении. Штриховые рисунки и фотографии содержат одинаковые искажения (см. рис. 62 и 63).

Если информация о перспективе в глубину действительно используется для выбора шкал воспринимаемого размера и воспринимаемого расстояния, нет ничего удивительного в том, что при возникающей на *плоской поверхности* ненормальной перспективе (не заданной целиком геометрическим сокращением изображения, пропорционального удаленности объектов) шкала размеров устанавливается неверно.

В обычных условиях видимый размер предметов остается неизменным в довольно большом диапазоне расстояний, несмотря на то что с увеличением удаленности этих предметов происходит геометрическое сокращение их ретинальных изображений. Это свидетельствует о наличии механизма перцептивной компенсации сокращения размера с расстоянием. Если ключом для такой компенсации служит именно фактор перспективы, присутствующий



**Рис. 71.** Иллюзия искажения, принадлежащая перу Понзо. Верхний поперечный брусок кажется длиннее нижнего, хотя они в действительности равны. Здесь перспектива дана в плоскости рисунка, поэтому компенсация уменьшения, которая в нормальных условиях приводит к постоянству размеров, оказывается неподходящей: мы видим верхний брусок не равным нижнему, но увеличенным, поскольку в глазу величина изображений обоих брусков одинакова



**Рис.72**

в ретинальном изображении, мы тогда должны допустить, что определенные искажения обязательно возникнут, раз они содер-

жаты в ретинальном изображении, где нет указаний на различие расстояний до объектов, поскольку именно эти указания сигнализируют о перспективном сокращении размеров предметов с увеличением расстояния. Другими словами, перспектива, содержащаяся в картине (изображении), дает неправильную шкалу для плоского объекта -- возникает искажение. Детали картины, которые кажутся более отдаленными, должны быть разросшимися — такими они и воспринимаются.

Если остановиться в наших рассуждениях на сказанном, то может возникнуть желание истолковать происхождение иллюзий искажения таким же образом, как толкуется изменение видимого размера при изменении видимого расстояния. Подобный эффект мы наблюдали при перцептивном перевертывании куба; к тому же нам известен закон Эммерта, выведенный при наблюдении зависимости размеров послеобраза от расстояния до экрана, на фоне которого этот образ виден. Однако такое истолкование не годится, потому что при иллюзиях искажения *фигура все время воспринимается в плоскости*. Правда, в ней всегда выражены перспективные элементы, но, вне всякого сомнения, *нет необходимости* воспринимать фигуры Понзо, Мюллера-Лайера и другие в трех измерениях, чтобы восприятие этих фигур содержало иллюзию искажения. Мы видим их на плоскости бумажного листа — и все же иллюзия налицо, а это совсем не то же самое, что было с перевертывающимся кубом. Куб и подобные ему фигуры меняют видимую форму только в тех случаях, когда они воспринимаются как трехмерные фигуры, но не тогда, когда они видны как плоские фигуры.

Поэтому проблему нельзя считать решенной. Быть может, эти искажения окажутся в конце концов никак не связанными со шкалированием размера и расстояния? А может быть, связь существует, но она хорошо замаскирована? Тот факт, что искажения соответствуют перспективным особенностям фигур, показывает, что второе предположение ближе к истине. Тогда в чем же заключается эта скрытая связь?

Зададим себе сначала такой вопрос: почему эти фигуры, явно содержащие перспективу, не воспринимаются как трехмерные? Ответ, по-видимому, ясен. Указания на глубину *нейтрализуются фактурой фона*. Доказать это нетрудно. Покройте рисунок светя-

щейся краской, погасите свет -- и вы устранили фон. Рисунок в таких условиях в большинстве случаев воспринимается как трехмерная фигура в соответствии с содержащимися в нем элементами перспективы.

Можно сделать больше: объективно измерить кажущуюся глубину таких фигур. Тогда мы свяжем величину «глубинности» со степенью искажения фигуры, наблюдаемой в плоскости.

### Измерение кажущейся трехмерности картин

Неподготовленному человеку может показаться, что измерить *кажущуюся* глубину совершенно невозможно -- ведь это задача, абсолютно непохожая на измерение положения предметов во внешнем пространстве. Как можно зафиксировать «внутреннее», воспринимаемое наблюдателем, пространство?

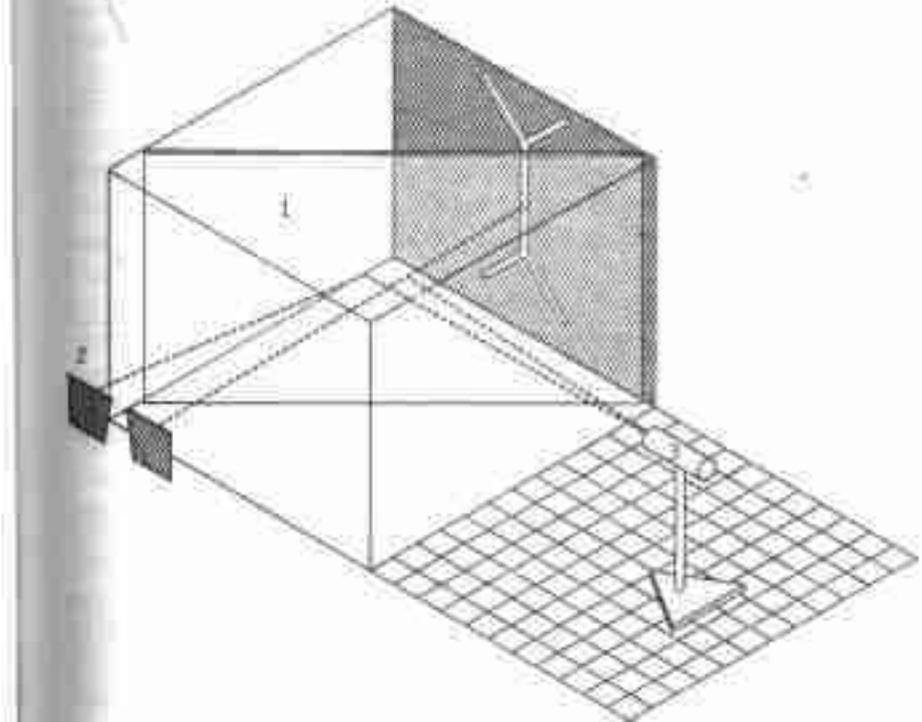
На первый взгляд кажется, что довольно точные результаты мы получим, попросту регистрируя движение наблюдателя, который касается предметов, расположенных на разных расстояниях от него (такой опыт можно поставить даже с тренированными животными). Пример: набрасывание колец на колышки, удаленные на разные расстояния. Но подобные эксперименты далеки от совершенства: *регистрируемые* ошибки в оценке расстояний содержат не только перцептивные погрешности, но и двигательные несовершенства, а мы не знаем, как велика доля первых. Задача отделения ошибок восприятия от ошибок исполнения — одна из самых трудных проблем исследования поведения.

Мы сумеем найти лучший способ измерения кажущейся глубины, если используем бинокулярное наблюдение как дальномер-эталон и его показания будем сравнивать с оценками глубины, виденными при наблюдении одним глазом.

Для этого прежде всего необходимо устранить всю стереоскопическую информацию, чтобы узнать величину монокулярного эффекта перспективы при наблюдении плоской фигуры. Затем надо нейтрализовать влияние фона, видимая фактура которого ложет противоречить перспективе, заключенной в рисунке, отчего возникает перцептивный парадокс. Чтобы выполнить первое условие, достаточно вести наблюдение одним глазом. Выполнение

второго условия достигается, если покрыть рисунок светящейся краской и погрузить комнату в темноту. Того же эффекта можно добиться и другим способом: изготовить диапозитив (точнее, «дианегатив» — прозрачный рисунок на непрозрачном фоне) и осветить его на просвет слабым равномерным светом (идеальный вариант — электролюминесцентная панель, помещенная непосредственно за «дианегативом»). Теперь осталось найти способ ввести какой-нибудь указатель в пределы фигуры; этот указатель должен восприниматься обоими глазами, и его следует сделать движущимся в глубину, даже сквозь плоскость рисунка. Это достигается оптическими методами.

Указатель представляет собой маленькое пятно света, отраженное от полупрозрачного зеркала, которое повернуто под углом 45 градусов к линии зрения, направленного на рисунок; рисунок рассматривают прямо сквозь полупрозрачное зеркало. Световое пятнышко видно там же, где находится рисунок, оптически оно именно там и находится. Если длина светового луча от глаз к указателю оказывается больше, чем от глаз до рисунка, то указатель виден позади, дальше рисунка; если первая меньше второй, то указатель виден ближе, перед рисунком. Осталось сделать так, чтобы рисунок (вернее, фигура) был виден лишь одному глазу, а указатель -- обоим. Тогда мы сможем использовать бинокулярное зрение как дальномер для определения удаленности любой части фигуры, воспринимаемой одним глазом; это позволит нам промерить воспринимаемые одним глазом расстояния до всех частей фигуры и составить таким образом карту зрительного пространства. Цель достигается, если установить поляризаторы света перед картиной и перед одним глазом (крестнакрест): перед диапозитивом помещаем лист «поляроида», ориентируя плоскость поляризации под углом 45 градусов к горизонтали, перед глазом помещаем такой же фильтр, но ориентированный под углом 135 градусов к горизонтали; этот глаз картины видеть не будет. Поскольку указатель освещен неполяризованным светом, оба глаза видят указатель, но лишь один из них — фигуру, содержащую искажение. Измерение зрительного пространства производят, перемещая световой указатель поочередно к разным частям фигуры и затем (оптически) приближая или удаляя его до тех пор, пока он



**Рис. 73.** «Ящик Пандоры» — аппарат для измерения кажущейся глубины картин: 1 — полупрозрачное зеркало; 2 — поляроидные очки; 3 — проектор светового индикатора

не будет воспринят — стереоскопически — на том же расстоянии, что и данный (монокулярно видимый) элемент фигуры.

Кстати, не обязательно пользоваться одним указателем; их можно сделать несколько и разместить у разных точек фигуры, чтобы измерить удаленность всех частей фигуры одновременно. Этот глубиномерный аппарат мы назвали «ящиком Пандоры» (рис.73).

Что получится, когда мы измерим кажущуюся глубину на картинах, содержащих иллюзию? Устранив противоречивую информацию, которая поступает от стереозрения и от фактуры фона, мы олучим доказательство того, что фигуры, содержащие иллюзии искажения, — фигуры Понзо (железнодорожный путь), Мюллера-

+2

8-н  
ε  
f  
ε 0

**Рис. 74.** Зависимость величины иллюзорного искажения глубины (измеренного с помощью «ящика Пандоры») от положения штрихов, ограничивающих отрезки в фигуре Мюллера-Лайера

Лайера (стрелы) и им подобные — действительно воспринимаются в трех измерениях и поддаются промерам также в трех измерениях. Меняя степень выраженности перспективных элементов в этих фигурах, мы находим связь между кажущейся глубиной фигур и величиной их перцептивного искажения. На графике (рис. 74) видна эта экспериментально найденная зависимость: увеличение перспективности фигуры приводит к увеличению перцептивного искажения.

Результаты этих экспериментов позволяют предположить, что перспектива влияет на зрительное шкалирование прямо — даже в тех случаях, когда указаниям перспективы противоречат другие факторы (например, видимая фактура фона), противодействующие непосредственному восприятию глубины. Мы считаем так потому, что иллюзии искажения воспринимаются даже на фоне, имеющем явно видимую фактуру (как, например, на страницах этой книги), — фигуры выглядят при этом плоскими, но искаженными.

Теперь самое важное. Вспомните эксперименты с каркасным кубом. Его видимая форма менялась в соответствии с воспринимаемым расстоянием до передней и задней граней. Когда куб переворачивается в восприятии (при этом его изображение на сетчатке остается неизменным), изменяется видимый размер передней и задней граней: дальняя грань всегда кажется больше ближней,

как бы это ни было на самом деле. Этот эффект, безусловно, отличается от эффекта иллюзии искажения плоских фигур, поскольку плоские фигуры *искажены без всякой видимой глубины*. Отсюда следует, что искажения могут возникать двумя разными способами. Они появляются либо потому, что глубина *видна*, либо потому, что глубина *запрограммирована* перспективой, но не видна вследствие противодействия фактуры фона. Искажения размеров нет, когда *запрограммированная* и *видимая* глубина совпадают с реальной; но во всех случаях, когда имеется расхождение видимой или запрограммированной глубины с реальной, возникает соответствующее искажение видимого размера.

Итак, мы убедились, что расстояние до предмета задается сенсорной информацией, причем перспектива, содержащаяся в ретинальном изображении, — чрезвычайно важный элемент такой информации. Когда перспектива не соответствует подлинной удаленности предметов, возникают ошибки в оценке размеров. Мы убедились также в том, что форма объектов, переворачивающихся в глубину, меняется с каждым переворачиванием, хотя ретинальное изображение все время остается неизменным\*\*. Вот каковы эти два совершенно разных способа перцептивного шкалирования размеров.

По-видимому, перцептивные переворачивания в глубину соответствуют попеременному выбору одной из альтернативных гипотез о том, какой объект представлен в изображении. При этом каждая гипотеза относится к классу гипотез о трехмерных объектах, имеющих типичные формы и размеры. Так мы приходим к мысли о возможности шкалирования размеров и форм *в прямой связи с объект-гипотезой*. Выбор неподходящей гипотезы (например, вывернутого куба) приводит автоматически к неверной оценке размеров передней и задней граней куба — потому он и выглядит искаженным, хотя при этом нет обманчивой информации, идущей от ретинального изображения.

Перейдем теперь к сравнению наших представлений о механизмах перцептивных искажений с теми представлениями, которые, несомненно, имеют отношение к этой проблеме, но в совершенно другой области, в физике, когда реальность измеряется приборами, шкалы которых построены на основании неверных масштабов, как это иногда случается в действительности.



## Масштабы вселенной

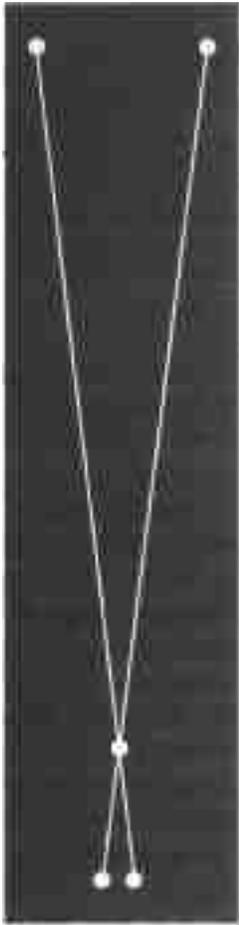
Подобно тому как машины являются искусственным продолжением мышц человека, увеличивая их мощность и точность, измерительные приборы служат продолжением наших органов чувств. Приборы помогают человеку все дальше и глубже проникать во время и пространство и притом позволяют производить разные измерения в пределах системы шкал, построенных на основе общепринятых единиц измерения. Некоторые физические единицы мер возникли на основе величин, свойственных человеческому телу: фут приблизительно равен длине стопы взрослого человека, ярд близок к длине одного шага<sup>1</sup>. Применять в качестве физических стандартов эталоны, которые «всегда под рукой», очень удобно, но, к сожалению, ни размеры частей тела разных людей, ни функции их органов чувств не могут быть достаточно одинаковыми. Такие эталоны годятся лишь для самых приблизительных оценок и, увы, совершенно не подходят ни для техники, ни для науки. В средние века был сделан следующий шаг к стандартизации мер длины: статистически определяли величину, равную 1 футу. Делалось это так. Измеряли длину стопы двенадцати мужчин, первыми покидавших церковь после воскресной утренней мессы; средняя величина (сумма длин всех двадцати четырех стоп, деленная на 24) принималась в качестве стандартной длины, равной 1 футу.

<sup>1</sup> Читатель без труда вспомнит русские аналогии: пядь, локоть, сажень и т.д.  
Прим. перев.

Познакомившись с некоторыми древними зданиями, мы можем утверждать, что еще за несколько тысячелетий до нашей эры с помощью простых инструментов проводились достаточно точные измерения; можно не сомневаться, что некоторые основные суждения, например об установке точных горизонтальных уровней, выносились не только на основе восприятия, но и путем рассуждений. Считается, что египтяне "начинали строительство плоских горизонтальных фундаментов для больших зданий с того, что строили невысокую временную стенку и замкнутую ею площадь заполняли водой на высоту около десяти сантиметров: уровень воды служил "указателем горизонтальности площадки. Человеческий разум приложил немало усилий, чтобы преодолеть физиологическую ограниченность человеческих органов чувств.

Ранние описания вселенной эгоцентричны; они основаны на сопоставлении ее параметров с физическими и функциональными возможностями человека. С появлением специальных измерительных приборов возникли другие меры; новые эталоны незаметно привели к тому, что центр вселенной уже не связывается в сознании людей с точкой, в которой находится наблюдатель. Стало известно, что во вселенной есть вещи, не только слишком малые или слишком далекие, чтобы их можно было отчетливо ощутить, но еще и скрытые от чувств, хотя и присутствующие в среде, непосредственно окружающей человека. Таков огромный диапазон электромагнитного спектра — от гамма-лучей до радиоволн; лишь одна его октава — видимый свет — доступна органам чувств, а через них и мозгу без всяких приборов.

Животному в окружающем его мире, обширном и большей частью враждебном, жизненно необходима способность к оценке размеров и расстояний; высокоразвитое зрение дает такую способность. В то же время сенсорные системы легко адаптируются — калибровка их часто нарушается. Несмотря на это, мы умеем определять «на глаз» *соотношения* размеров, а также интенсивность света; поэтому нам легко использовать и те Физические стандарты измерений, где применяются инструменты вроде линеек, уровней, фотометров. Даже простые, но умело применяемые инструменты могут в тысячу раз улучшить точность



**Рис. 75.** Звездные расстояния астрономы измеряют по параллактическому смещению звезды относительно «фона» — очень удаленных звездных образований, которые можно считать неподвижными

перцептивных оценок, хотя природная чувствительность глаза и уха приближается к теоретическому пределу любого физически возможного детектора.

Когда сенсорная информация используется для руководства действием, задача состоит в том, чтобы контролировать с помощью этой информации движения в соответствии с положением и размерами окружающих предметов. Чтобы предсказание результатов действий и контроль эффективности этих действий были возможны, необходимо соразмерять разнородную сенсорную информацию в соответствии с воздействиями внешнего мира. Дело здесь обстоит точно так же, как в измерительной технике: шкалы инструментов не могут строиться произвольно, в конечном счете любая шкала должна быть основана на свойствах известных объектов. Некоторые измерения являются *прямыми* (например, измерение длины, выполняемое с помощью линейки), другие — *непрямыми* (измерение температуры с помощью термометра).

Все единицы измерений основаны на выборе строго обусловленной процедуры, включающей правила изготовления точных линеек или, скажем, ламп со стандартной характеристикой излучения.

Рассматривая ход развития современных методов измерения, мы находим здесь глубокую аналогию с определенным периодом развития «непрямых органов чувств» — зрения и слуха, возникших уже после появления «прямых органов чувств» — осязания и вкуса, непосредственно контро-

лирующих жизненно важные отношения с окружающим миром. Видеть значит интерпретировать каждый полученный паттерн в соответствии с предполагаемым устройством мира реальных объектов; та же задача ставится перед всеми непрямыми способами научных измерений. В обоих случаях выдвигаются и затем проверяются альтернативные гипотезы -- чтобы отклонить все, кроме одной. В обоих случаях отдельные измерения должны быть связаны с единой шкалой измерений, выведенной либо из результатов применения прямых методов измерений, либо из допущений, основанных на гипотезе о природе измеряемых объектов.

Разовьем дальше тезис о логическом сходстве зрения с непрямыми методами измерения в физике. И здесь и там необходимы допущения. И здесь и там велика зависимость от прямых измерений. И здесь и там необходимы константы — эталоны для построения шкал, выведенные на основе анализа прошлых успехов и неудач измерения реального мира. Возьмем какой-нибудь пример научного измерения и детально разберем его. Посмотрим, например, как измеряются звездные расстояния.

Для измерений звездных расстояний астрономы применяют оба метода измерения — прямой и не прямой. Но применимость прямого измерения ограничена немногими ближайшими к нам звездами. В отношении более далеких звезд необходимо делать некоторые допущения, причем

**Рис. 76.** Глаза сигнализируют о расстоянии до близких объектов способом, весьма похожим на тот, который применяют астрономы для измерения удаленности звезд. Сигнализируется параллакс

всегда приходится считаться с тем, что эти допущения могут оказаться ошибочными.

Метод прямого измерения расстояний до звезд эквивалентен стереоскопическому зрению. Это геометрический способ, его результаты, как и результаты стереоскопического восприятия, в основном однозначны; тем не менее это довольно тонкий способ, и даже незначительные погрешности приборов могут сильно сказаться на результатах. Метод состоит в измерении кажущегося смещения ближних звезд относительно дальних при смене точки наблюдения (тригонометрический параллакс). При стереоскопическом зрении различие точек наблюдения задано постоянным расстоянием (базисом) между глазами — оно равно приблизительно 60 миллиметрам. Но для астрономов даже поперечник Земли — недостаточный базис при измерении звездных расстояний. Замеры они проводят не одновременно, а с интервалом в шесть месяцев; в качестве базиса используется поперечник земной орбиты (около 300 миллионов километров). Этим способом было впервые измерено расстояние до звезды; немецкий астроном Бессель в 1838 году измерил удаленность звезды 61 Лебедя<sup>2</sup>. Его результат составил 0,35" (в угловых секундах). Уточненный позднее результат равен 0,30". Такой параллакс соответствует расстоянию около десяти световых лет. Наибольший известный параллакс — меньше 1"; такой параллакс, к примеру, может быть получен, если наблюдать предмет 25 миллиметров в поперечнике с расстояния около пяти километров. Прямой метод измерения параллакса позволяет измерять расстояния в пределах около 300 световых лет (хотя Туманность Аш >меды, до которой около двух миллионов световых лет, можно увидеть и невооруженным глазом).

Измерение расстояний в световых годах связано с измерением параллакса лишь косвенно. Правда, есть и такая единица, которая связана с параллаксом непосредственно, — «парсек» Один парсек — это расстояние, соответствующее годичному пар

<sup>2</sup>) Годичный параллакс звезды (Беги) впервые был измерен русским ученым В.Я.Струве в 1837 году. — *Прим, перев.*

1"<sup>3</sup>); оно равно произведению радиуса земной орбиты на число 206265; радиус земной орбиты (среднее расстояние до Солнца, равное 150 миллионам километров) является астрономической единицей расстояния.

Сам термин «парсек» произведен от слов «параллакс, равный одной секунде»; итак, 1 парсек равен 206265 астрономическим единицам, или 3,258 светового года. До ближайшей к нам звезды 1,31 парсека, или 4,2 светового года.

Для сравнения укажем, что стереоскопическое зрение действует на расстояниях до нескольких сотен метров. Столь малый радиус действия объясняется двумя причинами: первая состоит в том, что разрешающая способность глаза примерно в сто раз ниже, чем соответствующая характеристика для телескопа; вторая (и более важная) — расстояние между глазами (базис стереозрения) — является ничтожной величиной по сравнению с диаметром орбиты Земли.

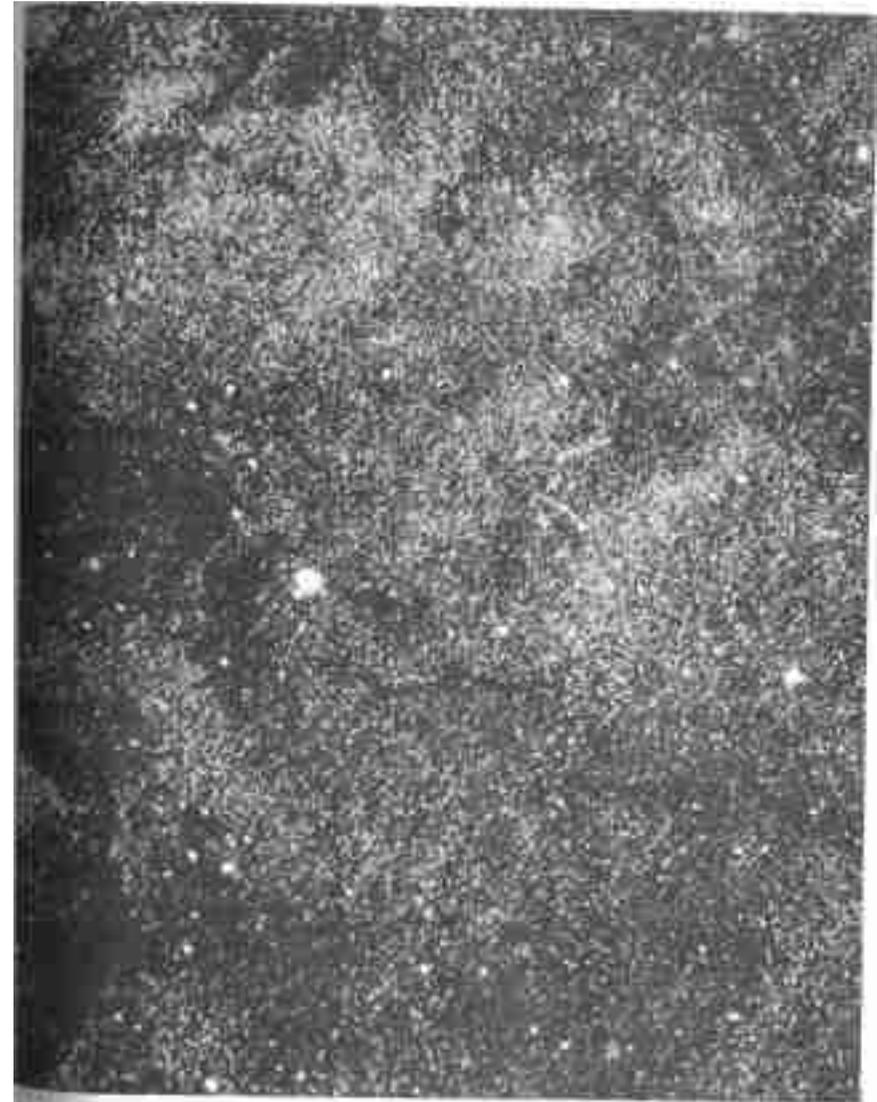
Наибольшие звездные расстояния, при которых еще возможны определения тригонометрических параллаксов, близки к 100 парсекам. При еще больших удаленностях применяется способ, известный под названием «определение средних параллаксов»; в его основе лежит тот (эмпирически установленный) факт, что Солнце (и Земля вместе с ним) перемещается в пространстве относительно большого числа звезд по направлению к Веге в созвездии Лиры. Перемещение Солнца порождает у наблюдателя ощущение смещения близких к нам звезд; их кажущееся движение характеризуется некоторой кажущейся скоростью, а величина последней зависит от расстояния каждой звезды. Это точная аналогия кажущегося движения ландшафта, наблюдаемого из окна идущего поезда: ближняя зона местности «движется» быстрее, чем отдаленная. Поскольку наблюдение перспективного смещения звезд производится в течение ряда лет (к нашим дням период накопления точных фотографий звездного неба насчитывает почти сто лет), появляется возможность оценки звездных расстояний, намного превышающих

-Точнее, парсек — расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная к лучу зрения, видна под углом в 1". — *Прим. перев.*

те, что доступны прямым тригонометрическим методам, использующим в качестве базиса диаметр земной орбиты. Для этого совершенно необходимо, однако, отличать изменение положения звезд, возникающее вследствие движения Солнца (и Земли вместе с ним) по направлению к Веге, от относительного «собственного движения» отдельных звезд. Движение Солнца сквозь пространство выводится статистически из результатов наблюдений кажущегося движения очень большого числа звезд; остаточное систематическое движение приписывается подлинному движению Солнца. Вывести величины, характеризующие движение солнечной системы среди звезд, -- дело сложное; оно требует большого числа наблюдений и большой вычислительной работы. Между тем совершенно таким же делом занят мозг человека, движущегося сквозь многолюдную площадь, или управляющего автомобилем в густом потоке движения, или ведущего самолет в строю других самолетов. Пределы способности мозга к обработке величин и направлений скоростей, заданных меняющейся перспективой множества объектов, движущихся относительно некоторой поверхности, неизвестны. Исследовать это было бы чрезвычайно интересно.

Расстояния до далеких звезд приходится измерять непрямыми способами, при которых применять геометрию уже нельзя. Все эти способы основаны на некоторых допущениях, не поддающихся прямой проверке.

Ясно, что если бы собственная светимость всех звезд была одинакова, то относительные расстояния до звезд можно было бы узнать довольно легко, исходя из универсального закона, связывающего блеск звезды с расстоянием до нее (видимый блеск обратно пропорционален квадрату расстояния). Но светимость звезд (их «абсолютная звездная величина») очень сильно варьирует, и поэтому видимый блеск звезды может служить лишь очень приблизительной оценкой ее удаленности. Все же звезды поддаются классификации: исходя из спектров звезд (и еще некоторых величин), их можно разбить на группы с известной светимостью. Тогда становится возможной и оценка расстояний по видимому блеску - при условии, что применяются верно

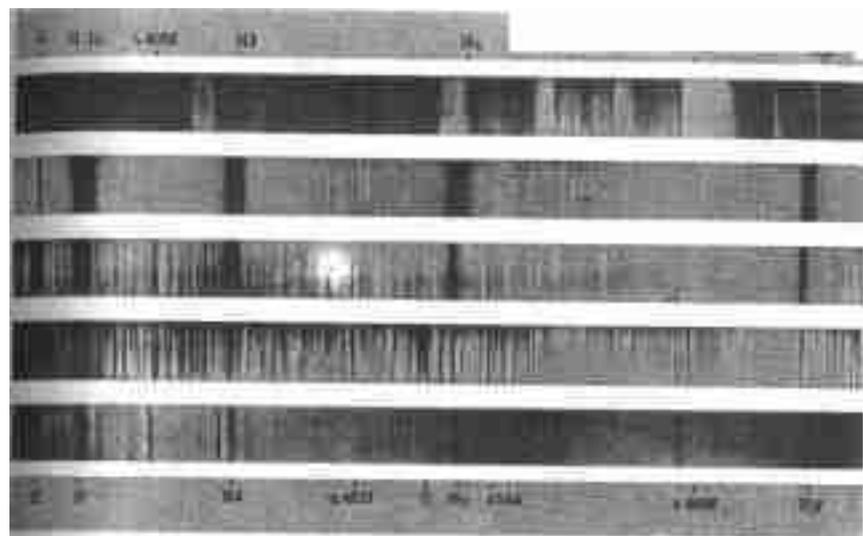


77. В этом звездном скоплении видны объекты весьма разной яркости. & среднем чем дальше звезда, тем меньше ее блеск, но некоторые тусклые звезды на самом деле находятся близко, только их собственная светимость мала. Они кажутся далекими, но в действительности это не так

выбранные константы для построения шкал оценки светимости звезды и учитываются все факторы, обуславливающие потерю света на пути от звезды к наблюдателю. Свет может ослабеть, проходя сквозь облака межзвездного газа, и это надо обязательно учитывать, чтобы не возникло ошибки в оценке расстояния, основанной на видимом блеске звезды. Неверно выбранная константа шкалы приведет к ошибке - - и она будет похожа на те ошибки в оценке расстояний, которые совершаются зрением в тумане или в дыму.

Итак, необходимо сделать некоторые обоснованные допущения о самом объекте, о помехах на пути от объекта к наблюдателю и, наконец, о свойствах и калибровке самих измерительных приборов, прежде чем применять не прямые методы измерения, не опасаясь, что при этом возникнет систематическая ошибка. Ошибки такого рода, по-видимому, эквивалентны ошибкам перцептивного шкалирования, вследствие которых возникают иллюзии искажения.

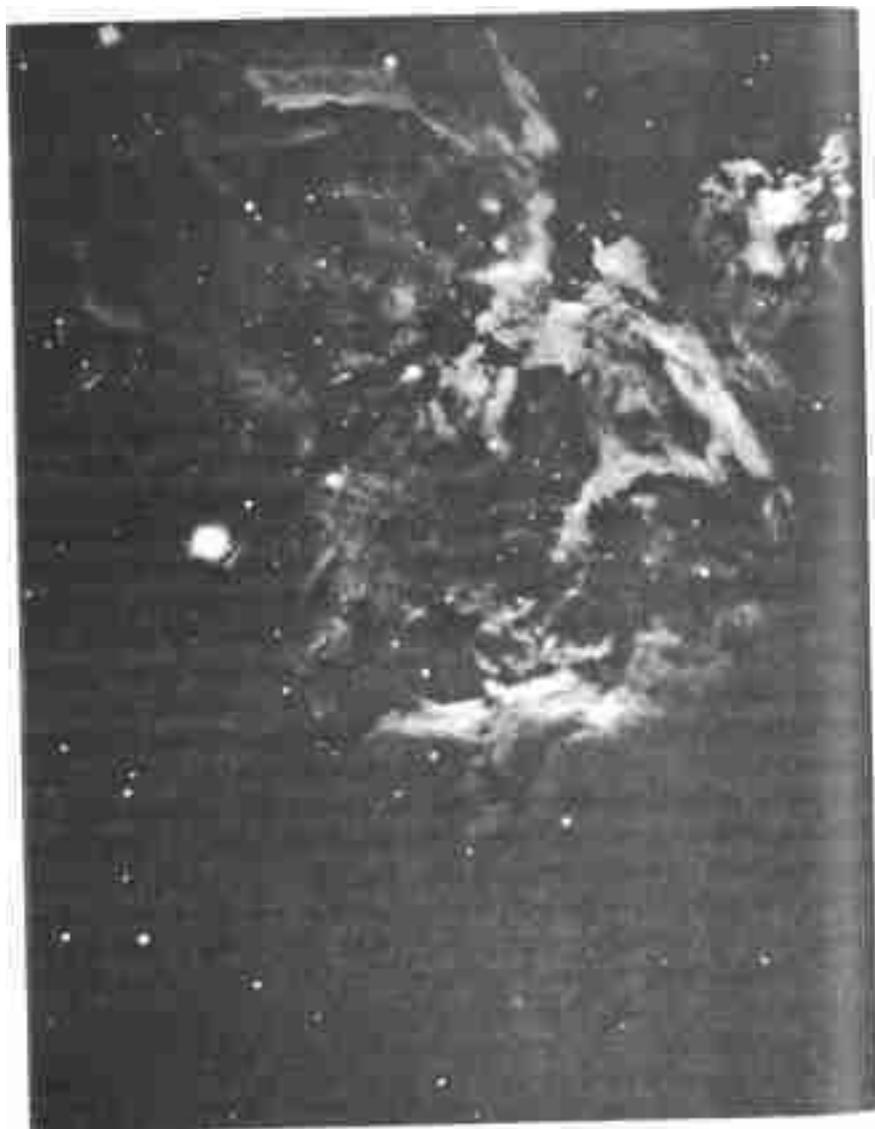
Объекты, еще не классифицированные и потому не имеющие надежных оценочных констант, причиняют крупные неприятности астрономам. Так, например, в отношении недавно открытых звездных объектов.. — квазаров — не известно, являются ли они необычайно мощными источниками излучения, лежащими на огромных расстояниях от нас, или светимость их средняя, а значит, и расстояния — обычного порядка. В данном случае трудность возникла потому, что в спектрах квазаров зарегистрировано красное смещение, которое обыкновенно указывает на очень большую скорость удаления (смещение возникает в результате эффекта Доплера, наличие которого само по себе свидетельствует о большой удаленности объекта). Красное смещение, наблюдаемое у квазаров, может объясняться либо огромной их удаленностью, либо другими причинами. До сих пор не решено, как следует выбирать константы шкалирования для измерения квазаров; поэтому нет согласия и в вопросе о том, являются квазары очень яркими и очень далекими объектами или средними по интенсивности излучения и соответственно менее удаленными; в последнем случае должна существовать особая причина, ответственная за неподчи-



**Рис. 78.** Спектры звезд различного типа. Солнце принадлежит к звездам среднего типа, к классу 0. Прочие спектральные типы звезд характеризуются либо меньшей, либо большей собственной светимостью

нение квазаров тем общим допущениям, которые оказываются справедливыми при измерении расстояний до других звездных объектов.

Быть может, читателю покажется, что мы совершаем слишком смелый прыжок, заявляя, что положение вещей с квазарами в астрономии логически подобно той особой проблеме, которую ставят перед глазом картины, воспринимаемые зрением. Но в картинах действительно есть весьма сходные сомнительные моменты шкалирования. Ретинальное изображение картины содержит перспективу, но заданную не геометрическим сокращением размеров и формы предметов с увеличением расстояния (поскольку картина плоская); налицо как раз такая ситуация, при которой Должны возникнуть большие ошибки в физических измерениях, поскольку допущения, обычно вполне надежные, здесь не годятся. Нормальные условия неизбежно нарушают точность не прямых измерений; с этой точки зрения картины могут оказаться совсем никудашными объектами, поскольку в некоторых случаях



**Рис. 79.** Свет отдаленных звезд проходит сквозь огромные газовые облака в созвездии Ориона. Это может привести к ошибке при оценке звездных расстояний на основе измерения светимости звезд, если не будет внесена поправка, основанная на сведениях о поглощении света

(вспомните Пильтдаунский череп) ^ неверные указания могут быть даны намеренно, чтобы обмануть глаз. Картины подаются на вход зрительной системы до такой степени искусственную информацию, что приходится удивляться вовсе не тому, что картины иногда оказываются неоднозначными, неопределенными, парадоксальными или искаженными, а, напротив, тому, что "мы вообще что-либо разбираем в них.

Астрономические объекты -- это тоже особые объекты зрительного восприятия; в их отношении мы не можем воспользоваться надежным перцептивным шкалированием, константы которого выводятся из прямых измерений.

### Как мы измеряем Луну и звезды?

Вопрос о восприятии Луны интересен, потому что до недавнего времени человек не приближался к ней никогда. Размер ретинального изображения Луны довольно велик (0,5 градуса, а это примерно четверть диаметра центральной — «фовеальной» - области сетчатки). Даже невооруженный глаз различает на поверхности Луны некоторые детали, к тому же в отличие от Солнца Луна имеет приятную для прямого наблюдения яркость. Тот факт, что мы не можем просто так прогуляться к Луне и потрогать ее руками, делает Луну прямо-таки небесным даром исследователю восприятия, а наблюдения космонавтов лишь помогают в этом деле.

Разумное представление о расстоянии до Луны и о ее размерах существует по крайней мере последние 2 000 лет, со времен Гиппарха. Всем образованным людям известно, что расстояние от Луны до Земли · - около 400 000 километров, что

<sup>4)</sup> Автор имеет в виду историю знаменитого антропологического подлога. & 1909 году некий Чарлз Даусон «открыл» фрагмент «древнего человеческого черепа» (близ Пильтдауна, в графстве Сассекс); в том же месте были найдены затем еще несколько фрагментов, в том числе сенсационный зуб. Лишь спустя 45 лет (!) было доказано, что все признаки «древности» черепа — дело рук нашего современника. Подробности читатель может найти в книге: *Эйдельман Н. Ишу предка*. \*\*: Молодая гвардия, 1970. — *Прим, перев.*

диаметр Луны равен примерно 3 500 километрам и что форма ее близка к шару. Но воспринимается Луна совсем иначе, и даже самое точное знание не помогает воспринять Луну в ее подлинном виде. Она кажется диском (примерно 30 сантиметров в поперечнике) и удалена «на глаз» всего километра на полтора или около того. Похоже, что все люди приблизительно одинаково воспринимают размеры и удаленность Луны, то есть все мы зрительно оцениваем Луну примерно с одной и той же ошибкой. Самая массовая и самая огромная иллюзия в истории человека!

Фактически мы ошибаемся в оценке размеров и удаленности Луны в миллион раз! Удивительна, однако, не только эта гигантская иллюзия; странно, что наше зрение вообще содержит оценку размера и удаленности Луны. Ведь зрение по самому своему существу является источником *непрямого* сигнала о размере и расстоянии; логически необходимо исходить из того, что калибровка ретинальных изображений осуществляется на основе *прямых* измерений -- прикосновений к объекту, числа шагов или времени движения до объекта (при этом регистрируются изменения размеров изображения на сетчатке по мере сближения с объектом), но калибровка такого рода невозможна по отношению к объекту «Луна». Тот факт, что мы все же воспринимаем Луну как объект, имеющий вполне определенные размеры и находящийся на определенном расстоянии, означает, по-видимому, что перцептивная гипотеза приписывает Луне признаки, основываясь на аналогиях с земными, знакомыми объектами. Вероятно, воспринимаемые размеры и расстояние заданы в случае Луны неким усреднением этих признаков, взятых по всем объектам, которые дают столь же небольшое ретинальное изображение. Во всяком случае, сам факт наличия перцептивно определенного размера и расстояния показывает, что перцептивная система при отсутствии ясной информации принимает искусственную оценку, отказываясь от альтернативы — оставить объект вообще вне шкалы оценок.

Хорошо известно, что Луна обычно кажется сильно увеличенной, когда она низко над горизонтом. По-видимому, перспектива

и ДРУ<sup>гие</sup> признаки расстояния, связанные с видимой поверхностью Земли, влияют на оценку размера Луны, смещая «нуль шкалы размеров».

Возможно, есть нечто удивительное в том, что четкое знание подлинных физических параметров Луны не влияет на величину ее видимых параметров. Ведь восприятие — это своего рода процесс решения проблем; очевидно, в данном процессе логическое знание мало влияет на выбор решения.

Тот факт, что Луна кажется больше, когда стоит низко над горизонтом, заинтересовал еще Птолемея. Он предположил, что низкая Луна воспринимается дальше линии горизонта, а высокая — ближе, отсюда разница в видимых размерах. Фактически Птолемей предложил объяснение в духе закона Эммерта<sup>5</sup>. Но это неверно; обсуждаемый случай не согласуется с законом Эммерта: на самом деле Луна, расположенная над горизонтом, кажется одновременно и больше и *ближе*. Мы могли бы сказать, что причину тут следует искать в рамках процесса первичного шкалирования величин в зрительной системе; увеличение видимого размера без увеличения видимой удаленности похоже на то, что происходит при иллюзиях искажения. Нам следует ожидать именно кажущегося уменьшения удаленности Луны, когда ее видимый размер возрастает, аналогично тому, как воспринимается в темноте любой светящийся объект.

Греки считали, что звезды — это светящиеся точки, вкрапленные в поверхность вогнутой сферы, центром которой является Земля. Мы все еще *видим* вселенную именно так, хотя и *знаем*, что она совсем другая. Мы видим Солнце, движущееся поперек неба, хотя знаем, что причина этого кажущегося движения Солнца — собственное вращение Земли.

Находясь в движении, мы замечаем, что Луна и звезды «сопро-<sup>в</sup>ождают» нас в пути. Разумом мы понимаем, что они неподвижны, <sup>и</sup>О так далеки, что параллактическое смещение их не может быть

Закон Эммерта, установленный способом наблюдения, гласит: «При неизмен-  
>й величине ретинального изображения воспринимаемый размер предмета *прямо*  
<sup>и</sup> *Р* пропорционален воспринимаемому расстоянию до предмета». — Прим. перев.

нами замечено. Земные же предметы остаются на вид неподвижными (параллакс их смещения слишком мал) только в тех случаях, когда предметы перемещаются вместе с нами; потому и небеса зрительно «сопровождают» нас в пути. Быть может, меня не сочтут слишком большим фантазером, если я допущу, что именно видимое активное участие небес в перемещениях человека привело его к вере в то, что звезды не холодные созерцатели земной суеты, а заинтересованные наблюдатели всех ее индивидуальных судеб.



## Рисование на плоскости

По-видимому, искусство с самого начала было связано не только с физическими, но также с магическими и религиозными представлениями об устройстве мира. Пещерные рисунки, вероятно, имели отношение к тому, что называется «симпатической магией»;

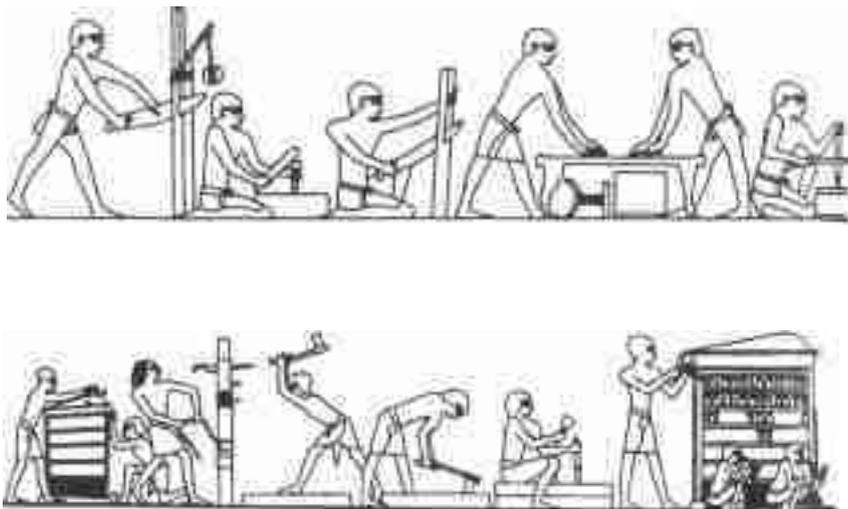
**Рис. 80.** Человеческие фигуры странным образом искажены, поскольку их очертания изображены на рисунке без соблюдения правил перспективы, без учета изменения положений отдельных частей тела в зависимости от конкретной позы. Похоже, что типичные перцептивные гипотезы, отобранные и скомбинированные, помещены в плоскость картины без всякого участия шкал, меняющихся пропорции и положения фигур в зависимости от расстояния и от точки наблюдения



вполне возможно, что картины считались своего рода талисманами: волшебными знаками добра и зла, способными порождать Желаемые мысли и настроения не только в людях, но и в богах. Ведь картины находят подчас на стенах пещер в таких местах, которые Почти недоступны человеческому взору. А иногда их рисовали одну Поверх другой — словно потому, что само место обладало магиче-

скими свойствами. Кое-что от магического назначения искусства сохранилось и все еще продолжает сохраняться в произведениях религиозной живописи, включая христианскую.

В современном обществе стоимость картины выражается в деньгах, и цены на них часто «сумасшедшие». Бывает, что оригинал картины оценивается в сотни и даже в тысячи раз дороже,



**Рис. 81.** Египетский рисунок технического типа. Изображается несколько операций изготовления мебели; видны детали формы инструментов, видно, как используются последние, но не видно, где режется дерево, поскольку рисунки лишены перспективы. Похоже, что египтяне *не умели* изображать наклонные поверхности (по Бейкеру, 1966)

чем копия, хотя последняя совершенно неотличима от оригинала. Ценность картины определяется личностью художника и подлинностью картины. Картины, очевидно, воспринимаются как нечто гораздо более значительное, чем заменители ретинальных изображений действительности; случается, что картину ценят выше, чем самое реальность.

В религиозных картинах превыше всего ставился сюжет, поскольку эти картины предназначались для внушения и укрепления веры среди неграмотных людей.

Но, как мы видим, не всегда важно, что написано на полотне. Гроздь винограда или мертвый заяц сами по себе могут не представлять ни интереса, ни ценности, но картина, на которой изображены такие, казалось бы, бесполезные вещи, может принести ее продавцу гораздо больше, чем заработал автор картины за всю свою жизнь. Могло бы это быть так, е<уш картины — всего лишь более или менее точное отображение расцветки и формы предметов? Совершенно ясно, что картина не только отображение пространственных характеристик вещей, иначе она не могла бы



**Рис. 82.** Еще пример египетского рисунка. По-видимому, и здесь художник не сумел изобразить наклонные поверхности, вследствие чего чрезвычайно важная информация о глубине оказалась утраченной

содержать ничего более интересного и ценного, чем сам отображаемый предмет.

Совершенно поразительно, насколько редкое явление в искусстве — точная передача пространства. Многие из наиболее замечательных произведений живописи совершенно не передают глубины. Правда, умение воспроизвести глубину рассматривается как определенное достижение, но оно не считается особенно важным, за исключением некоторых случаев. В то же время на картине обычно изображены предметы, которые мы привыкли видеть объемными. Естественно возникает вопрос: почему столь часто пренебрегают передачей глубины? В особенности интересно,

почему так редко используется строго выдержанная перспектива. Ведь ретинальное изображение построено по законам геометрической перспективы (с увеличением расстояния соответственно уменьшается размер изображения любого предмета). Так почему же художники редко воспроизводят структуру изображения в собственном глазу, когда стремятся отобразить глубину на полотне? Проблема действительно весьма реальная и чрезвычайно сложная. Хотя ретинальное изображение построено по законам строгой перспективы (как фотография), мы видим окружающий мир совсем не в соответствии с этими законами, потому что на метрику изображения сильно влияет перцептивное шкалирование. Шкала, в соответствии с которой мы воспринимаем размеры предметов, сильно противодействует перспективному сокращению этих предметов. Даже по одной этой причине мы не должны ждать от художника соблюдения строгой перспективы. Однако вряд ли дело ограничивается только этим; наши глаза, привыкшие к строго перспективным фотографическим изображениям, способным вызывать убедительное ощущение глубины, безусловно, могут подчиняться восприятию геометрически передаваемой глубины. К тому же многие произведения искусства совсем не содержат перспективы, а значит, показывают не то, что видит художник (даже с учетом влияния перцептивного шкалирования на перспективную структуру ретинального изображения). Например, египтяне вообще не пользовались приемами передачи глубины. Их картины выглядят почти совершенно плоскими. Но ведь это совсем не значит, что мир казался египтянам плоским: их статуи, их бронзовые и деревянные фигуры не плоские, а вполне реалистические трехмерные предметы, отображающие мир таким же, каким видим его мы.

Не исключено, что египтяне не передавали глубины в своих картинах в связи с какой-нибудь древней традицией или религиозным запретом. Но кое-что, и весьма существенное, свидетельствует против такого предположения: технические картины, которые совершенно определенно нельзя назвать ни декоративными, ни ритуалистическими, также лишены глубины. Это любопытный факт, потому что отсутствие глубины мешает рассмотреть подчас очень важные детали. Значит, если эти картины и в самом Д<sup>а</sup>

ле применялись для технических целей, например для обучения, ценность их была не столь высокой, какой могла бы быть. В качестве иллюстрации к сказанному стоит рассмотреть изображения некоторых ремесленных операций (рис. 81 и 82); это в общем весьма реалистические рисунки, изображающие процесс изготовления мебели; виден детально каждый инструмент, показано, как эти инструменты применяются, неясно лишь, *где именно нужно резать* дерево. Для наших глаз такое упущение чрезвычайно странно - здесь явно утрачены очень важные сведения. Возможно, египтяне просто не умели изображать наклонные поверхности, для чего нужна самая простая перспектива. Пусть отсутствие перспективы в картинах, которые представляют самостоятельную ценность, объяснимо по соображениям, не имеющим никакого отношения к технике живописи, но отсутствие глубины на явно технических изображениях требует иного объяснения.



**Рис. 83.** Роспись греческой вазы. Видно лимбическое сокращение, но нет подлинной геометрической перспективы

Греки умели изображать наклонные поверхности; вазы они Расписывали, используя прием укорачивания размеров, и все же °ни, по-видимому, никогда не применяли строгой геометрической п<sup>е</sup>Рспективы. Насколько мне известно, предметы не изображались

в реалистических глубинных планах до начала итальянского Возрождения, до работ художника и архитектора Джотто (1266-1337). Первое успешное использование приема перспективы относят к работам архитектора Брунеллески (1377-1446). Кстати, оба они вложили свой труд в постройку флорентийского собора: Джотто проектировал колокольню, а Брунеллески -- купол. Хочется думать, что они и их коллеги художники-архитекторы развивали и использовали перспективу, поскольку это приносило безусловную пользу при решении технических проблем планирования и художественного проектирования крупных зданий, имеющих новые формы. По сохранившимся описаниям можно познакомиться с тем, как это происходило.

В первой половине XIV века Джотто приступил к решению задачи пространственного отображения предметов на плоскости; правда, по критерию геометрической перспективы делал он это еще несовершенно. Лишь Брунеллески в начале XV века удалось решить задачу полностью (в панно, изображавших виды Флоренции и ныне, к сожалению, утраченных); задача решена верно и в работе скульптора Гиберти «Врата Рая», выполненной для флорентийского баптистерия. Гиберти (1378-1455) не оставляет сомнений в том, что сцены, рельефно изображенные им на двери, были задуманы как реалистические. Он пишет:

*«Я всемерно стремился подражать натуре, насколько это было в моих силах... Все они обрамлены так, что глаз может измерить их\ они так правдивы, что, если смотреть издали, кажутся округлыми. Они выполнены в очень низком рельефе, и в плане те фигуры, которые стоят ближе, несколько увеличены, а те, что удалены, — уменьшены, как и в натуре видно. Единство измерения я сохранял от начала до конца этой работы».*

Альберти (1404-1472), принадлежавший к той же школе, настолько овладел законами перспективы, что делал специальные «перспективные смотрелки» (как мы бы их теперь назвали), которые зритель разглядывал с определенной позиции, дававшей глазу точную перспективу, благодаря чему возникала полная иллюзия глубины.

Лишь Леонардо да Винчи (1452-1519) впервые полностью сформулировал принципы геометрической перспективы. От его работ на эту тему не осталось ничего, если не считать нескольких страниц в записных книжках. По-видимому, Альберти впервые предложил рассматривать картину как окно, сквозь которое мы смотрим на мир. Леонардо развил эту идею, предположив, что «перспектива есть не что иное, как вид из окна, на совершенно прозрачном стекле которого изображены предметы, находящиеся за окном». Надо сказать, что это научное заключение, а не простая фиксация результата наблюдения.

В 1334 году Джотто был назначен распорядителем работ по строительству собора во Флоренции, причем его главной задачей было проектирование и сооружение величественной колокольни так, чтобы она гармонировала с уже существовавшей частью собора, проект которого был создан Арнольфо ди Камбио; строительство собора было начато в 1295 году. Совершенно ясно, что постройке собора придавалось очень большое значение не только церковными, но и светскими властями, так как спустя три года после начала строительства Камбио был освобожден от уплаты всех налогов силой следующего декрета:

*«Община народа Флоренции, судя по величественному и зримому началу названной работы над названным Храмом, производимой тем же Мастером Арнольфузом, надежду имеет получить храм более почтенный и более прекрасный, чем какой-либо иной во всей области Тосканской».*

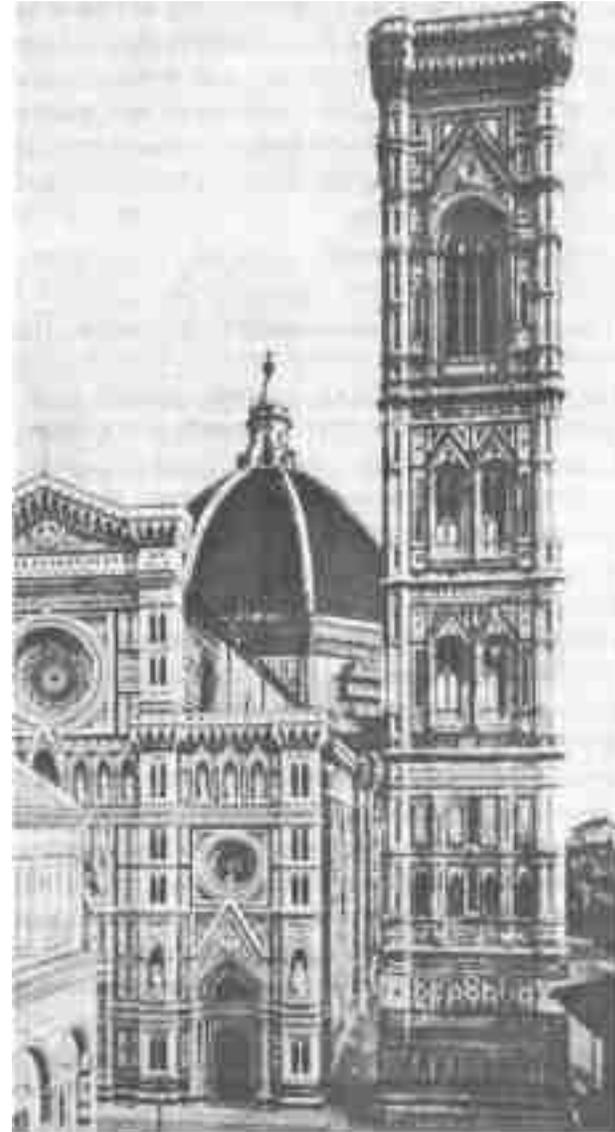
Когда Джотто приступил к строительству собора, ему необходимо было так спроектировать башню, чтобы она вписывалась в ансамбль собора при взгляде на него с любой из многих возможных точек. Для этого Джотто необходимо было совершенно ясно представить пространственные связи существующей части собора с будущей башней, в чем ему могли помочь только пространственно точные рисунки. Быть может, именно такая необходимость заставила тогдашних художников-архитекторов разработать технику перспективного рисунка.

Интересно, что Джотто спроектировал свою кампанилу (рис. 84) так, что она дает «отрицательную перспективу»: баш-



ня вверху значительно шире, чем у основания. Этим достигнуто многое; ведь обычно кажется, что высокие здания отклонены назад, поскольку шкала видимого размера несовершенна, особенно когда наблюдатель смотрит высоко вверх или глубоко вниз; здесь этот эффект устранен. Существует мнение, что и греки пользовались сходными приемами при постройке своих храмов, а это свидетельствует об их знакомстве с законами геометрической перспективы. И все же имеющиеся данные не столь убедительны, как может показаться на первый взгляд. Возьмем Парфенон, стоящий на Акрополе в Афинах; он был построен между 447 и 432 годами до нашей эры, при Перикле. Может показаться, что это простое прямоугольное здание, но фактически это не так. Угловые колонны поставлены теснее центральных (расстояние 183 сантиметра между угловыми колоннами и 244 между центральными). Длинная (более 60 метров) горизонталь перистиля изогнута вверх в центре, а угловые колонны и длинные стены слегка наклонены внутрь здания. Колонны имеют в средней своей части небольшое утолщение — знаменитый *энтазис*, необходимый для того, чтобы ствол колонны не казался вогнутым. Колонны перистиля утончаются кверху: диаметр колонны у основания 188, у вершины 146 сантиметров. Считается, что эти отклонения от прямоугольной формы предназначены для устранения оптических иллюзий. Но тогда мы вправе ожидать отклонений, направленных в противоположную сторону (это не относится к энтазису колонн), если намерение строителей действительно заключалось в том, чтобы предотвратить впечатление наклона здания назад.

Принято считать, что прообразом греческих храмов служили древние деревянные строения, скорее всего хижины ранних европейцев, живших по берегам озер; опорные столбы хижин превратились в колонны, поперечные брусья — в горизонтальный архитрав. Бревенчатые строения нетрудно поправить, мы можем допустить, что их изменяли методом проб и ошибок до тех пор, пока не получался удачный вариант. Затем их легко было скопировать уже в камне, не нуждаясь при этом в разработанной теории перспективы. Во всяком случае, отклонения, наблюдаемые в обсуждаемом строении, труднообъяснимы с точки зрения теории перспективы. Конечно, трагично, что не сохранилось



с. 84. Кампанила Джотто, собор во Флоренции. Кампанила расширяется кверху: по-видимому, это сделано для того, чтобы компенсировать кажущееся «заваливание» высоких башен назад, от зрителя

буквально ни одной греческой картины, но и без вещественных доказательств у нас достаточно оснований предположить, что греки не знали геометрической перспективы. Вполне возможно, что дальнейшее исследование росписи греческих ваз, специально нацеленное на интересующий нас вопрос, поможет окончательно установить, была ли перспектива открыта в период Возрождения первично или только вторично.

Нам, безусловно, интересен ответ на этот вопрос, но и так ясно, что изучение и развитие перспективы в период Возрождения было вызвано вполне действенной причиной. Перспективу разрабатывали художники и архитекторы. Их интересовало проектирование зданий и отображение собственных идей в форме, понятной и приемлемой для других людей, а эти идеи, по-видимому, требовали, чтобы картина была не только приятна для глаза, но и достоверна, чтобы на ней изображались реальные предметы — так, как они воспринимаются людьми *с определенных позиций наблюдения*.

Вероятно, художники открыли геометрическую перспективу, не просто глядя перед собой и рисуя то, что видят. Гораздо вероятнее, что для открытия законов перспективы понадобились измерения, а для последовательного применения этих законов — инструменты, главным образом такие, как камера-люцида и камера-обскура<sup>^</sup>. Оптические проекции, получаемые с помощью таких инструментов, позволяют сделать набросок природы прямо по контурам изображения. Известно, что мастер перспективы, известный итальянский живописец Каналетто (1697-1768), широко пользовался в своей работе одним из названных инструментов (камерой-обскурой). Однако он не позволил себе превратиться в раба оптических изображений; так, английский живописец-пейзажист Джон Констебль пишет в своем очерке о Каналетто:

<sup>^</sup> Камера-люцида и камера-обскура — «дырочные камеры» (прототипы современных фотоаппаратов). В передней стенке «дырочной камеры» (непрозрачного ящика) прорезано маленькое отверстие; на противоположной стенке (изготовленной, например, из кальки) формируется всегда четкое, но не очень яркое изображение всех предметов, попадающих в «угол зрения» отверстия камеры. Наилучший диаметр отверстия — около 0,5 миллиметра. — *Прим. персе.*

*«В большинстве своих картин он был удивительно точен в фактах — до деталей... И все же он изменял относительные размеры зданий и их положение в пространстве с помощью таких приемов, как быстро сходящие на нет линии перспективы», он принимал также две и даже более точки наблюдения одновременно, когда рисовал протяженные ландшафты».*

Несмотря на то что Каналетто обладал и знаниями и необходимой техникой для достижения совершенной геометрической перспективы, он редко (а точнее, никогда) не применял ее без тех изменений, которых требовал его артистизм.

Фотографический способ дает картины, безусловно точные в смысле подчинения геометрической перспективе, но при этом фотографии могут быть чрезвычайно неинтересными картинами. Далекие горы утрачивают свое подавляющее величие -- они выглядят слишком незначительными. Правда, мы в какой-то мере научились усваивать правдивую перспективу фотографий, и все же опытный фотограф для съемки далеких объектов вынужден применять телеобъектив, чтобы воспроизвести насколько возможно перцептивное шкалирование размеров, но даже при таких ухищрениях не всегда удается сделать фото «подлинным» или выразительным. Если мы правы и строгая перспектива применяется редко именно потому, что точные пространственные соотношения обычно несущественны для художника, то неизбежно возникает вопрос: а что же важно для картины? И здесь мы снова, возможно, почерпнем подсказку в искусстве, наиболее свободном от третьего измерения, — искусстве Египта.

Картины, характерные для египетского искусства, очень положи, в сущности, на картины «идентификатора»<sup>^</sup> Они представляют собой комбинации «стандартных» частей тела и черт лица.

<sup>^</sup> Аппарат, комбинирующий типичные «детали» человеческого лица, изображенные на плоскости или в стереообъеме. Путем последовательного перебора возможных сочетаний разных «овалов лица», «бровей», «носов», «глаз» и т.д. ведется поиск «портрета», имеющего сходство с определенным человеческим лицом. Различные «идентификаторы» нередко используются криминалистами. — *Прим. перев.*



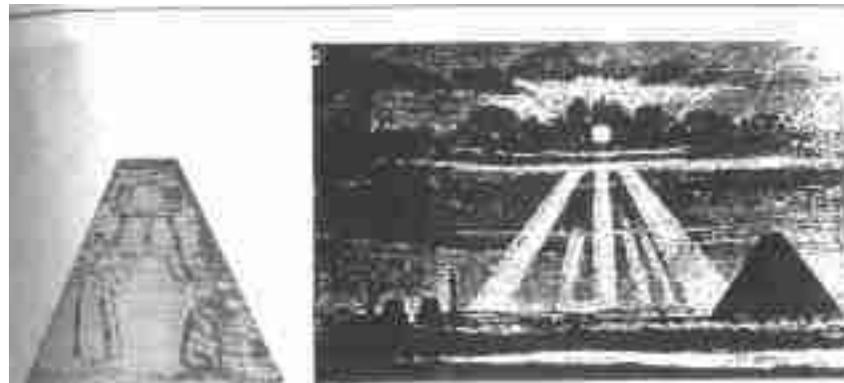
**Рис. 85.** Египетский бог Нила — гермафродит. Обе груди помещены на одной стороне тела. Детали часто смещались странным образом, с тем чтобы показать их в типичной позиции; это характерно и для детского рисунка

Эти очертания весьма характерны и типичны. Глаза всегда даны спереди, даже если лицо изображено в профиль; плечи и торс также показаны спереди, хотя в целом туловище повернуто боком к зрителю. Конечный результат производит странное впечатление разобщенности; в конце концов художник оказывается вынужденным переконструировать человеческое тело — поместить обе груди на одной стороне тела гермафродита, бога Нила (рис. 85), или создать другие не менее странные уродства.

Живший в XIX веке английский инженер-конструктор Джемс Несмит был поражен сходством с пирамидой, которое приобретала в перспективе совокупность падающих солнечных лучей.

В автобиографии он писал:

*«Множествораз, впитывая изысканное зрелище Лучей Солнца, струящихся вниз, к Земле, сквозь разрывы в облаках, открытые над горизонтом, я невольно и неминуемо замечал их сходство с формой Пирамиды, а единичный, вертикально падающий луч напоминает обелиск... В Лувре... я обнаружил маленькую пирамиду с диском Солнца наверху, от него пирамидально нисходят лучи — к фигурам, застывшим в египетской позе поклонения: руки подняты к глазам, дабы защитит их от блеска Солнца. Этот жест все еще сохраняется в Египте как знак*



**Рис. 86.** Египетская миниатюрная пирамида. Падают вниз солнечные лучи, руки людей подняты вверх

**Рис. 87.** Возможно, форма пирамиды была подсказана египтянам перспективным сближением солнечных лучей (с гравюры Джемса Несмита)

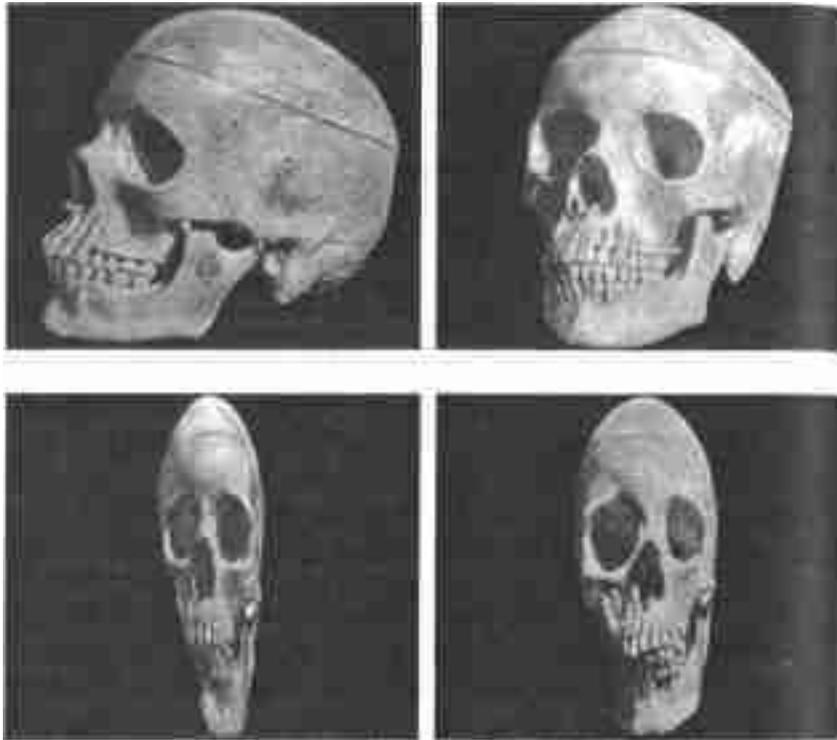
*приветствия... Изображение диска Солнца на протяжении веков помещают за головой святого или осененного благодатью лица, как это можно увидеть в восточных и в ранних картинах, а также в витражах наших храмов».*



**Рис. 88.** Рисунок шестилетнего ребенка

Несмит - знающий художник, к тому же сын хорошо известного шотландского пейзажиста; свою идею пирамиды он иллюстрировал в гравюре (рис. 86). Маленькая пирамида из Лувра, о которой упоминает Несмит, показана на рис. 87. И очень может быть, что, если бы египтяне понимали чисто геометрическую природу перспективы, они не стали бы строить пирамид...

Дело не только в том, что в искусстве Древнего Египта не применялась перспектива; оно вообще не содержит никакой последовательной техники связывания объектов в одно целое. Картины представляют собой комбинации типичных очертаний



отдельных частей тела или предмета, а ориентация и соотношение их в пространстве — чисто второстепенный момент. Последний приносится в жертву главному — изображению основных черт в характерной для них ориентации.

В египетских пиктограммах мы находим тот же принцип подчеркивания типичных ориентации. Птицы всегда изображены в профиль, глаза у человека всегда располагаются спереди и т.д. Быть может, привычные с детства стандартные пиктограммы мешали египетским художникам выработать технику целостной композиции, требующей верного расположения и связывания частей объектов и фигур.

Общеизвестно, что художник всегда показывает мир таким, каким именно он, художник, видит его. Попробуем рассмотреть в этой связи концепцию «объект-гипотезы». По логике вещей ху-



Рис. 89/Так выглядит этот предмет в разных ракурсах. При вращении его изображение на сетчатке глаза претерпевает те же изменения

Рис. 90, Так выглядит картина, изображающая данный предмет, когда картину вращают. Ретинальное изображение картины, наблюдаемой из разных позиций, претерпевает те же изменения

дожник отображает главным образом свои объект-гипотезы. Это единицы его собственного внутреннего мира. Ранее мы показали, что объект-гипотеза не может содержать сведений о величинах, о расстоянии, об ориентации, поскольку объекты могут находиться в любом пространственном положении относительно наблюдателя. Отсюда следует, что шкалирование объектов происходит в норме путем сопоставления с ситуацией на основе сиюминутных сенсорных данных. Поэтому мы имеем право предположить, что объект-гипотезы содержат именно *типичные* очертания и размеры, которые преобразуются с помощью сенсорной информации непосредственно в процессе восприятия. Если же художник отображает главным образом то, что хранится в его мозгу, свои «объект-гипотезы», следует ожидать, что в его картинах не будет как раз результата шкалирования, поскольку нормальной



**Рис.91.** Мирет Оппенгейм.  
Мех на завтрак (1938)



**Рис.92.** Все нормально —  
обыкновенная чашка чая



**Рис. 93.** Сюрприз возник только потому, что, рассматривая рис.92, мы подсознательно сделали некое допущение — и оно оказалось ложным

функцией шкалирования является именно «укладка» объект-гипотезы в конкретную ситуацию. Детские рисунки свидетельствуют о том, что людям легче всего рисовать характерные очертания знакомых предметов и очень трудно — *нетипичные* положения этих предметов, возникающие при совершенно *определённой* позиции наблюдения. В этом отношении древнеегипетская живопись сходна с детским рисунком. Даже человеку, изучающему живопись на уровне нашей культуры, нужно долго трудиться, прежде чем он сможет правдиво нарисовать фигуру человека. В этом ему поможет знание анатомии: учащийся должен выработать свою объект-гипотезу. Художнику необходимо создать богатый арсенал объект-гипотез, прежде чем он сможет пространственно преобразовывать реальность, показывая определённые аспекты своего объекта.

Прямое отношение к сказанному имеют эксперименты, которые мы



*m*

**Рис.94.** Эмоциональная реакция на этот рисунок Мэнна Рея вызывается *неоптическими* свойствами утюга и иглолок, известными нам из опыта

проделали с помощью простых проволочных фигур, вращающихся в свете источника и отбрасывающих теневые изображения на экран. Мы убедились в том, что никакие объекты, кроме самых простых и наиболее знакомых, не представлены в объект-гипотезе, обеспечивающей предсказание новых проекций-изображений при новых ориентациях вращающегося предмета. Возьмем теперь не проволочные скелеты предметов, а массивный знакомый объект и посмотрим, какого рода преобразования происходят в плоскостной проекции этого предмета, то есть на картине,

где он изображен, при изменении ориентации этого предмета (рис. 90). Право, и перед мозгом и перед художником стоит нелегкая проблема!

Ясно, что индивидуальным особенностям в художественном отображении мира, то есть тому факту, что личность художника «просвечивает» сквозь его картины, удивляться не следует. Ведь его картины — это сочетания его личных объект-гипотез, «объективность» же дается лишь специальным обучением. И поэтому картины заставляют нас увидеть вещи по-новому, так как меняют наши объект-гипотезы. В этом могущество искусства.

В современном искусстве наиболее явную и «воинственную» игру против объект-гипотез ведут сюрреалисты. Сальвадор Дали, Ренэ Магрит, Мирет Оппенгейм, несомненно, вызывают сильную реакцию зрителя парадоксальными сочетаниями своих объект-гипотез, иногда забавных, иногда неприятно поражающих. В качестве примера возьмем хотя бы оппенгеймовский «Мех на завтрак» (рис. 91). Невозможно взирать на эту картину без содрогания! Изобразительный каламбур здесь перерастает в насилие, возмущая спокойствие зрителя.

Если верно, что художник сильно зависит от собственных объект-гипотез, то что же происходит, когда он пытается изобразить совершенно незнакомый предмет? В поисках ответа следовало бы поставить эксперименты; однако некоторыми сведениями, проливающими свет на этот вопрос, мы уже располагаем. Речь идет о тех случаях в истории науки, когда внимательные и опытные наблюдатели старались описать и изобразить предметы, дотоле никогда не виданные человеком во всех деталях. Таких примеров немало, начиная с работ первых микроскопистов и астрономов, впервые применивших телескоп для наблюдения Луны и планет.

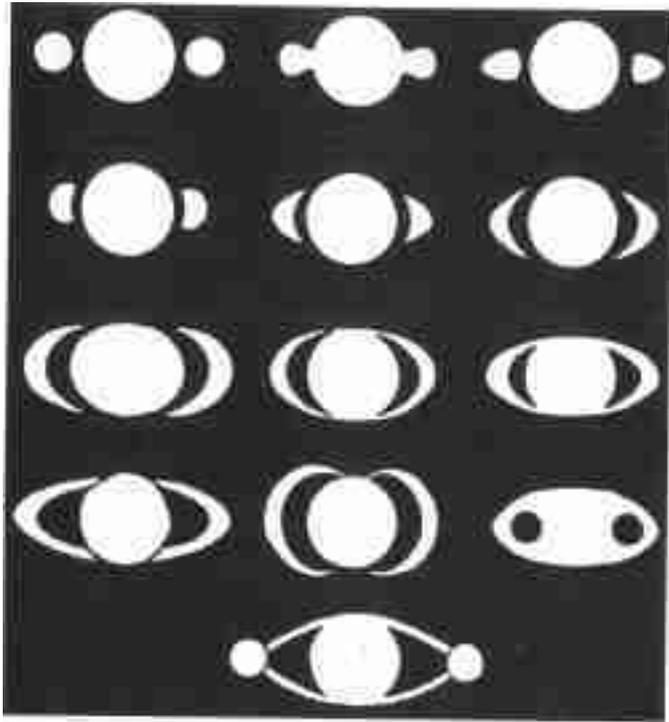
Первые телескопические наблюдения провел Галилео Галилей (1564-1642) между 1609 и 1619 годами; у него был примитивный рефрактор<sup>3^</sup> с апертурой в 2,5 сантиметра. Галилея

<sup>3</sup> Оптические телескопы бывают двух видов — рефракторы и рефлекторы. В телескопе-рефракторе изображение создается системой линз, в рефлекторе зеркало

в высшей степени озадачил вид Сатурна. Мы-то прекрасно знакомы с кольцами планеты, они хорошо видны почти в любой современный телескоп; Галилей же не имел никакого представления об этом явлении и очень долго не мог разглядеть кольцо. Этот феномен он описал как «тройственный объект», когда же понял, что наблюдал кольцо, то своевременно не сообщил об этом.

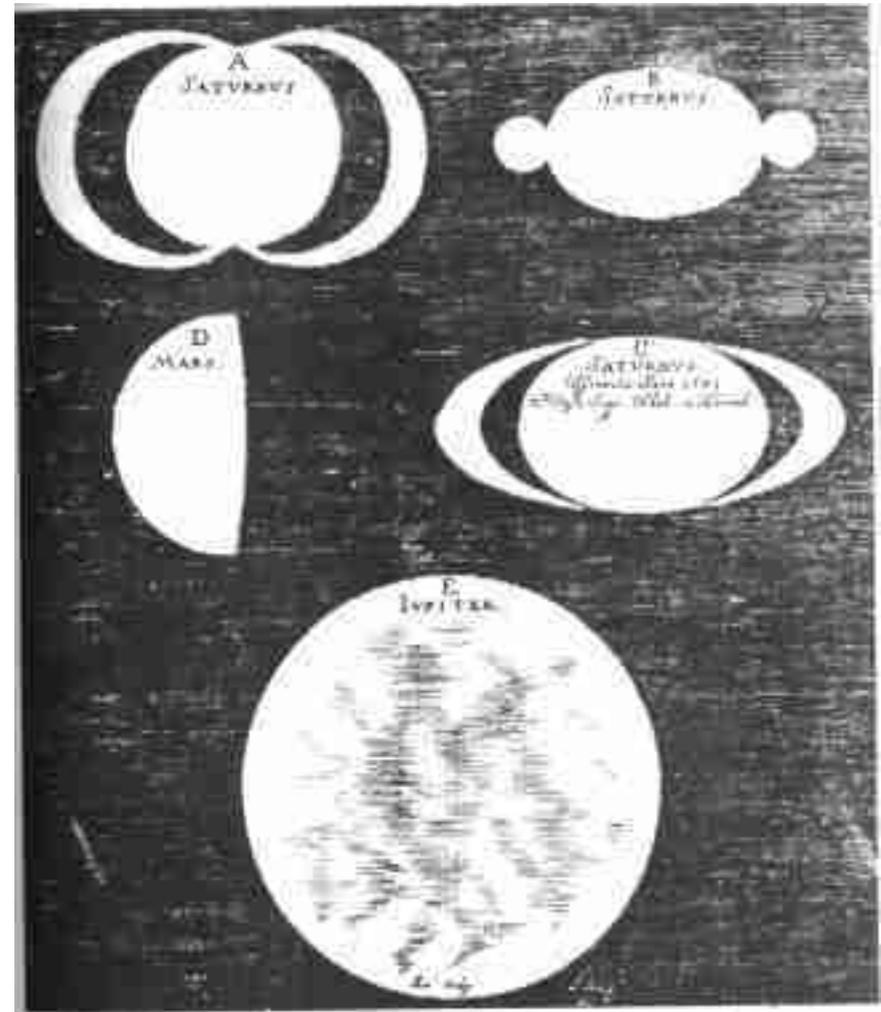
Голландский ученый Христиан Гюйгенс (1629-1695) строил собственные телескопы; по всей вероятности, они были лучше того, которым пользовался Галилей. Но и Гюйгенс не сумел правильно увидеть кольцо Сатурна. На рис. 95 показана серия рисунков, которыми Гюйгенс иллюстрировал свои наблюдения; фактически это изображения кольца, повернутого в разных ракурсах, но почти все они — невозможные варианты кольца. Впрочем, не следует забывать, что флуктуации изображения в телескопе, зависящие от атмосферных помех, могут порождать мимолетные искажения восприятия. И все же даже с учетом помех ошибки в первом, четвертом, десятом, одиннадцатом и тринадцатом рисунках вряд ли могли возникнуть объективно; их, безусловно, не сделал бы ни один из тех наблюдателей, которые знают «ответ». В конце концов Гюйгенсу все же удалось прийти к правильному выводу: планета окружена «тонким, плоским кольцом, нигде не прикрепленным к телу планеты». Это кольцо трудно увидеть при помощи маленького телескопа, даже в большой телескоп оно четко видно лишь недолгие мгновения. Рисунки показывают совсем не то, что видно в телескоп в один из таких моментов; каждый рисунок — синтез очень большого числа наблюдений. Рисунок — это представление о том, как выглядит объект «в действительности». Поэтому вызывает серьезные сомнения возможность сделать какое бы то ни было единичное «наблюдение» какого бы то ни было предмета. Наблюдение, трактуемое как построение объект-гипотез, требует времени и знаний, иначе оно не может начаться.

формирует образ. Апертура — одна из величин, от которых зависит разная сила телескопа; 2,5 сантиметра — весьма малая величина по современным представлениям. — *Прим. перев.*



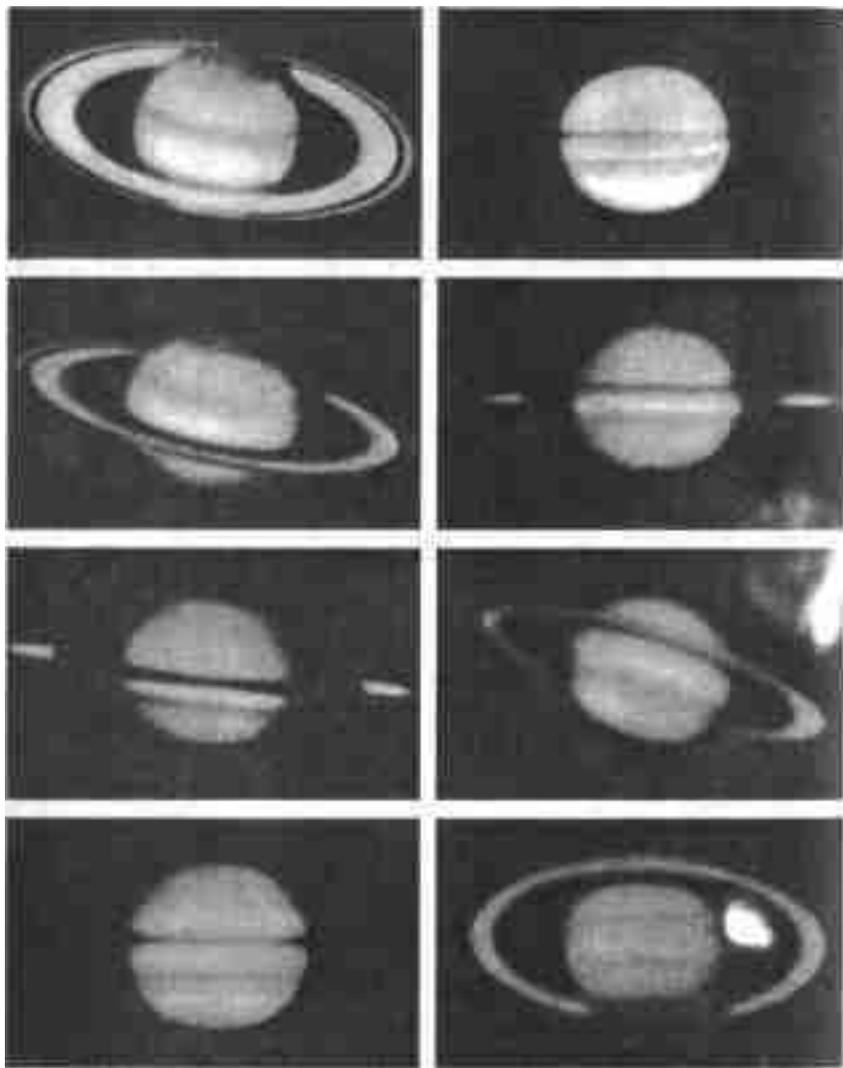
**Рис. 95.** Так Христиан Гюйгенс зарисовал планету Сатурн. Он не знал, что планета окружена кольцом. Не имея подходящей «объект-гипотезы» кольца, он не мог ни увидеть, ни нарисовать его верно

Нам кажется привлекательной мысль, что любая картина, написанная художником с натуры, отображает не столько натуру, непосредственно видимую художником во время работы над этой картиной, сколько комплекс представлений, объект-гипотез, накопленных художником в предыдущем опыте. Ведь объект-гипотеза не содержит сведений об удаленности предметов; последние могут находиться на самых разных расстояниях от наблюдателя; удаленность и ориентация предмета, который находится перед глазами в данное время, оцениваются с помощью сенсорной информации, доступной именно в этот момент. Если картины в самом деле отражают главным образом содержание представлений художника

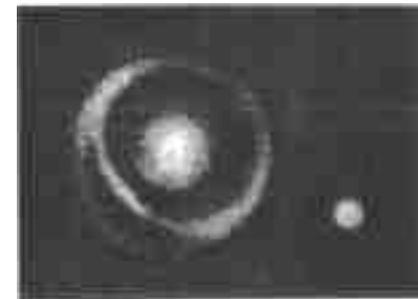


**Рис.96.** Ранние зарисовки Сатурна, сделанные Гевелиусом. По-видимому, и он неверно интерпретировал свои ретинальные изображения

о мире — а мы полагаем, что запасенные представления являются основным звеном всякой перцепции, то не следует слишком удивляться и тому, что отображение трехмерного пространства возникло уже в поздней истории развития искусства, когда



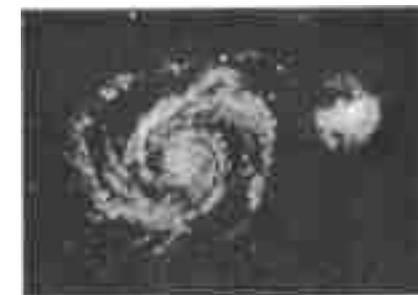
**Рис. 97.** Серия фотографий, показывающих кольца Сатурна в разных курсах. Для нас уразуметь то, что показано на фотографиях, не составляет труда — так ли это было бы легко, если бы мы не знали, что Сатурн — шар, опоясанный тонким плоским кольцом?



**Рис. 98.** Зарисовка туманности М-51, сделанная Гершелем в середине девятнадцатого столетия

**Рис. 99.** Та же туманность М-51, зарисованная Россом, который открыл, что она имеет спиральную форму

**Рис. 100.** Современная фотография той же туманности М-51, полученная на обсерватории Маунт Вилсон при помощи 100-дюймового телескопа. По-видимому, в этой фотографии достаточно информации для выработки правильной перцептивной гипотезы даже при отсутствии каких-либо предварительных знаний у наблюдателя. Отсюда ясно, как важно получить достаточные и по возможности недвусмысленные данные для того, чтобы увидеть нечто правильно, равно как и для того, чтобы выдвинуть и проверить хорошую научную гипотезу. Это особенно важно в тех случаях, когда истина кажется невероятной, как это было, например, с Гершелем, современники которого понятия не имели о существовании спиральных туманностей



появилась необходимость использовать рисунок для технических нужд, то есть когда картины использовались скорее как инструменты, чем как самостоятельные ценности.

Описание уникальных вещей плохо поддается не только средствам живописи, но и словесному выражению, потому что в обоих случаях точная передача сообщения требует, чтобы «приемник» и «передатчик» владели сходными объект-гипотезами. И если можно говорить о языке живописи, то это скорее язык поэзии, чем прозы.



## Рисование в трехмерном пространстве

Попробуем теперь извлечь пользу из тех сведений, что мы получили при исследовании восприятия объектов, изображенных на картинах. Главное, что мы узнали о картинах, сводится к следующему: как перспективные, так и неперспективные проекции предметов чрезвычайно мало подходят для того, чтобы ясно и недвусмысленно передавать трехмерную структуру объектов.

Для художников в этом нет ничего неожиданного, поскольку они слишком хорошо знакомы со всеми трудностями и ограничениями техники изображения трехмерных предметов на плоскости. Леонардо да Винчи писал:

*«Натуру, рассматриваемую двумя глазами, невозможно передать на картине так, чтобы и там она видна была с равной выпуклостью, хотя бы линии, свет, тени и цвет переданы были совершенно в точности».*

Леонардо, правда, не догадывался о том, что разные позиции наблюдения, занимаемые в пространстве двумя глазами (от чего и возникает так называемая «диспаратность» ретинальных изображений), совмещаются затем в мозгу, после чего и ощущается стереоскопическая глубина. Первый намек на понимание этого появился удивительно поздно — в «Трактате об оптике», изданном Джозефом Гаррисом в 1775 году. Гаррис подошел к пониманию основы стереозрения. Он писал:

## 7. Рисование в трехмерном пространстве

*«И при помощи параллакса, образующегося за счет расстояния между глазами, мы можем различать, помимо передней стороны, еще и разные части боковых сторон предмета... а это дает нам видимый рельеф такого предмета, помогая различить его и отделить от плоскости, в которой он лежит. Так, нос тем более выделяется, чем больше мы видим его с обеих сторон лица одновременно.»*

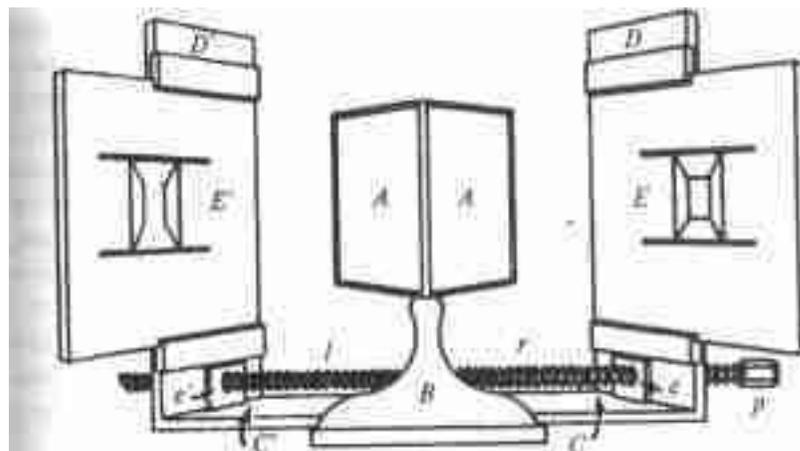
Гаррис явно имеет в виду реальность, а не двойные искусственные картины, поскольку в то время стереоскопа еще не существовало; даже в течение следующих пятидесяти лет никто не видел стереокартин.

Стереоскоп был изобретен английским физиком Чарлзом Уитстоном, скорее всего, в 1833 году; описание стереоскопа автор опубликовал в 1838 году. Идея была прекрасна в своей простоте;



**Рис. 101.** Стереозффект, достигаемый сжатием глаз к носу; усилить конвергенцию помогает булавка

## 7. Рисование в трехмерном пространстве



**Рис. 102.** Зеркальный стереоскоп Уитстона. Картины, составляющие стереопару, могут быть достаточно большими, так как зеркала делают ненужной сильную конвергенцию (утомляющую глаза наблюдателя)

берутся две картинки, по-разному изображающие один и тот же предмет: на одной картинке предмет показан так, как его видит правый глаз, на другой - так, как видит левый; затем человеку одновременно показывают эту пару картинок, но так, чтобы каждую из них видел только один глаз. Результаты, полученные Уитстоном, оказались поразительными. Даже обыкновенные штриховые рисунки, без всяких оттенков или иных намеков на глубину, воспринимались в четком и несомненном рельефе. Линии рисунков ясно выступали из плоскости, как будто совершенно не находились в ней. Говоря современным языком, Уитстон полностью устранил парадокс картин, одним-единственным приемом отделив картину от ее фона.

В середине девятнадцатого столетия было разработано несколько типов стереоскопа. Но зачем, собственно, нужен какой бы то ни было аппарат? Почему бы не дать наблюдателю попросту пару соответствующих картин, так чтобы каждая была видна лишь одному глазу? Ответ заключается в следующем: во-первых, большинству людей лишь с очень большим трудом удается сохранять параллельное направление зрительных осей при взгляде на близ-

кие предметы, так как всегда есть сильное стремление свести оси обоих глаз к одной точке — конвергировать к близкому предмету; во-вторых, картинку пришлось бы делать очень маленькими. Второе объясняется тем, что трудно усилить аккомодацию более чем на 4 диоптрии, соответственно расстоянию до рисунков (25 сантиметров)<sup>1</sup>; учитывая, что расстояние между глазами всего около 6 сантиметров, приходится делать картинку маленькими, иначе они наложатся одна на другую, когда зрительные оси станут параллельными. Некоторым людям удастся, однако, видеть стереокартинки крест-накрест (при резко усиленной конвергенции, как это показано на рис. 101). Так что рассматривание стереокартин без аппаратуры возможно, но это утомительно и не дает хорошего стереоэффекта.

Уитстон применил пару зеркал, каждое из которых повернуто под углом 45 градусов к зрительной оси одного глаза, так что картинка располагается по сторонам (рис. 102). Дэвид Брустер в 1849 году изобрел другую систему стереоскопии — с использованием линз. Картинки невелики, линзы их увеличивают; к системе добавлены отклоняющие стекла-призмы, что позволяет раздвинуть центры картинок на расстояние, превышающее базис, но не мешает при этом одновременно рассматривать их и сливать воедино (рис. 103). Инструмент Брустера гораздо компактней зеркального стереоскопа и лучше подходит для использования фотографических изображений. Он вошел в обиход викторианских гостиных в пятидесятых годах XIX века, когда дагерротипы стали широко известны. В сущности, стереоскопия появилась почти одновременно с фотографией, и, хотя к концу столетия она утратила свою популярность (за исключением сферы научного использования), сегодня она снова возрождается.

Фотоаппараты для стереосъемки достать не очень трудно. Такой аппарат — это обычная фотокамера в варианте «сиамские близнецы»: две линзы в одном теле с катушкой 35-миллиметровой

<sup>1</sup> В оптике используется как линейное, так и диоптрийное исчисление расстояний; между обоими имеется простая (обратная) связь: расстоянию 1 метр соответствует 1 диоптрия, расстоянию 0,1 метра — 10 диоптрий и т.д. — *Прим. перев.*



Рис. 103. Линзовый стереоскоп Брустера

пленки. Каждая линза дает такую картинку, какую получил бы глаз, расположенный в той же точке. Рассматривать картинку можно либо в ручном стереоскопе, в основе своей сходном с аппаратом Брустера (причем картинки так малы, что обыкновенных линз вполне достаточно и призм не требуется), либо способом проекции. В последнем случае проекция ведется (с диапозитивов) через пару обычных проекторов на посеребренный экран; оба

изображения совмещаются. В одном проекторе свет поляризован под углом 45 градусов, в другом - - 135 градусов, а наблюдатель смотрит через очки, состоящие из поляроидных фильтров, каждый из которых тоже ориентирован под углом 45 градусов к горизонтали и под прямым — к парному фильтру. В итоге правый глаз получает только «правое», а левый — только «левое» изображение. Эффект бывает исключительно реалистическим, особенно при хорошей цветной фотографии, причем движения головы не вызывают соответственного параллактического смещения «предметов»: стереокартина смещается *в ту же* сторону, куда движется голова, как будто предметы переднего плана соединены с головой наблюдателя.

Довольно скоро стало известно, что при перестановке картин стереопары (стереоскопия «навыворот», или псевдоскопия: когда правую картину «показывают» левому глазу, а левую картину - правому) воспринимаемое глубинное расположение деталей стереокартины меняется на обратное. Однако это происходит не всегда, и тут исключения из правил чрезвычайно интересны. Так, например, невозможно увидеть вогнутый рельеф человеческого лица (когда нос и прочие выдающиеся части лица представляют собой впадины — рис. 104). А вот статуя, расположенная в глубине ниши, при псевдоскопии будет выглядеть совершенно нормально, зато ниша вывернется и вместе со статуей будет выпирать из стены, а не восприниматься погруженной в стену (в последнем случае мы говорили бы о полной неэффективности псевдоскопии).

(Читатель может сам получить опыт псевдоскопического восприятия, рассматривая стереокартины в этой книге через очки, повернутые так, чтобы правый глаз смотрел через красный фильтр.)

Этот пример показывает, что стереоскопическая информация отвергается, когда она дает в высшей степени маловероятный ответ на вечный вопрос восприятия: если это объект, то что он такое и как он расположен? Это поразительный пример разумности Разумного Глаза.

Вдавленный в глубину нос не такой уж невероятный предмет. Рассматривая настоящую гипсовую маску лица на близком расстоянии и при хорошем освещении, мы видим ее изнутри как лицо,

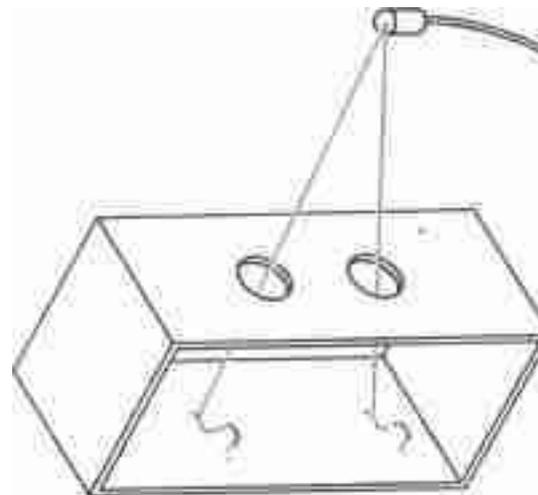


**Рис. 104.** Внутренняя поверхность гипсовой маски лица. Но видно ли, что это-вогнутая маска? Вероятность того, что лицо «вдавлено», так мала, что восприятие начисто отвергает истину

все выпуклые черты которого вдавлены, а все вдавленные выпуклы. В этом случае информация о глубине настолько полна, что малая вероятность соответствующей гипотезы не мешает правильному восприятию реальности. Но рассматривая ту же маску при слабом свете или при ровном освещении, которое не дает теней или не обнаруживает фактуры, мы воспринимаем лицо с обычными глубинными конфигурациями. Чтобы мозг отверг привычную перцептивную гипотезу, нужна сильнейшая, абсолютно недвусмысленная сигнализация, поступающая из аппарата пространственного зрения, а для того, чтобы сработала привычная гипотеза, нужно — как все мы знаем по карикатурам — очень немного информации.

В тех случаях, когда внутренняя поверхность маски воспринимается как выпуклое лицо, оно «поворачивается» в соответствии с движениями головы наблюдателя точно тем же странным манером, как это происходит со стереоизображением, проецируемым на экран; только размах движения в последнем случае меньше, чем при наблюдении реальной маски или перцептивно «перевернутого» проволочного куба. Дело в том, что маска и куб дают подлинный параллакс движения, поскольку детали этих предметов действительно находятся на разных расстояниях от наблюдателя, но параллакс воспринимается мозгом как сигнал вращения объекта, поскольку положение ближних и дальних его частей в это время перцептивно инвертировано — предмет «вывернут наизнанку». Исследовать этот эффект в самостоятельных опытах с маской и кубом, безусловно, стоит. Не исключено, что именно он лежал в основе старинных храмовых «чудес» — статуи двигались, словно живые, провожая каждого верующего поворотом вдавленных лиц, пока он в священном полумраке пробирался к излюбленному месту.

Первыми стереограммами Уитстона были простые штриховые рисунки — кубы, цилиндры и тому подобное. Рисунки выполнялись в соответствии с правилами проективной геометрии так, чтобы дать отдельно ракурсы наблюдения с позиций правого и левого глаза. Эта техника выполнения стереограмм применяется иногда и сейчас.



**Рис. 105.** Эскиз машины, рисующей в трех измерениях: стереофотокамера и подвижный источник света. На пленке получится стереослед движений луча в трех измерениях. Если сделать так, чтобы стереослед наблюдался в процессе движения, получится машина для рисования в трехмерном пространстве

Несколько лет назад автору этой книги подумалось, что было бы интересно и бесполезно иметь простое устройство для автоматического рисования стереокартин. Первый аппарат, построенный нами для рисования в трехмерном пространстве, был основан на оптическом принципе: рисунки выполняются световой точкой, движущейся в пространстве трех измерений.

Рисовать в трех измерениях, располагая стереофотоаппаратом и маленьким источником света, просто: для этого достаточно в темной комнате открыть полностью оба затвора фотоаппарата и перемещать перед ним (в стороны и в глубину) источник света. Контуры движений источника (безразлично, соответствующие очертаниям какого-либо предмета или произвольные) будут запечатлены на пленке в виде стереопары изображений, поскольку два объектива фотокамеры «увидят» свет с разных позиций. Однако на практике такой способ вряд ли удобен, поскольку полученную стереокартину можно рассмотреть только после ее завершения, после того, как фотопленка будет проявлена и снимки отпечатаны. Похоже

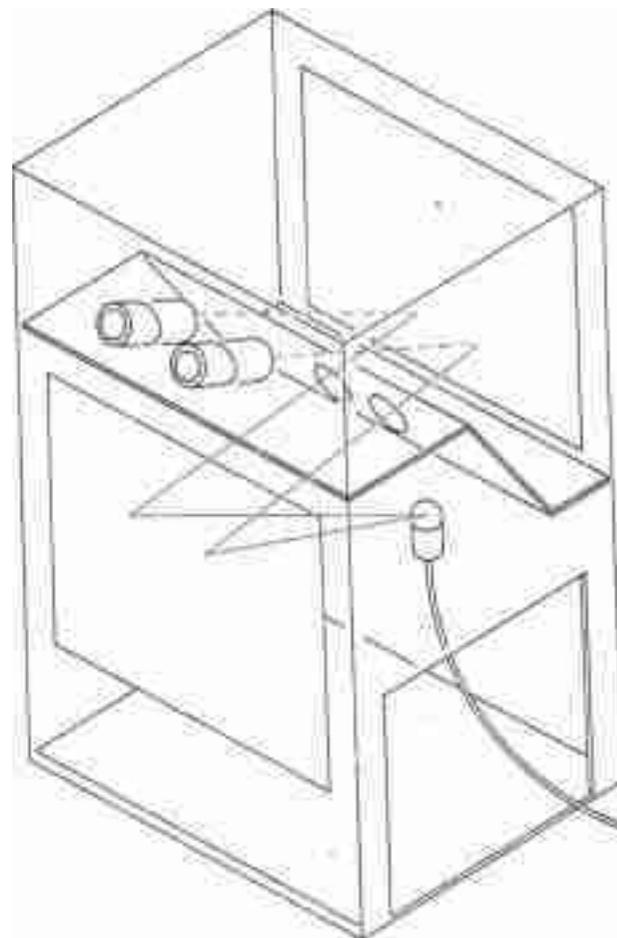
на рисование с закрытыми глазами, только еще труднее, так как здесь «рука», выполняющая рисунок, движется в трех измерениях.

Чтобы, сохранив идею, развить и реализовать ее, надо найти способ сделать оптический след рисунка непосредственно и постоянно видимым в процессе рисования. Этого можно достичь, если вместо пленки использовать покрытую светящимся составом пластинку. Поместим пару таких пластинок в подходящий стереоскоп и с помощью двух объективов спроецируем на них наш рисующий свет — получим парный след, который мы будем видеть стереоскопически, воспринимая непосредственно движение светового пятна в трехмерном пространстве (светящиеся линии на темном фоне).

Возможности использования такого устройства ограничены, поскольку фосфоресцирующие составы обладают очень малым временем послесвечения. Нам нужно средство, гораздо дольше сохраняющее светящийся след. Такое средство появилось не так давно, это инертная электролюминесцентная панель; она долго сохраняет собственное свечение после предварительного воздействия света. Стирание картинка с такой панели производится простым выключением напряжения (100 вольт, постоянный ток).

На рис. 106 показана схема устройства аппарата для рисования в трехмерном пространстве с помощью электролюминесцентных панелей, сохраняющих изображение. Работать с таким аппаратом чрезвычайно увлекательно.

Немало, конечно, и других возможностей для реализации процесса рисования в трехмерном пространстве. Мы уже знакомы со стереопроекцией теневых изображений реальных трехмерных объектов; если каждое теневое изображение — «правое» и «левое» раздельно — обвести прямо на экране цветным мелком или тушью (правое — красным, левое — зеленым цветом), то полученную стереопару можно рассматривать через цветные очки. Этот способ удобен для получения стереоизображений реальных трехмерных предметов (конечно, при условии, что они дают хорошие теневые изображения). Способ подходит главным образом для «скелетных» предметов, сделанных из проволоки; объекты могут быть как угодно сложны,



**Рис. 106.** Эскиз действующего устройства для рисования в трех измерениях; разработано автором. Вместо фотопленки применяются «запоминающие» (инерционные) электролюминесцентные панели. Они продолжают хранить светящийся след после того, как свет перестал действовать на поверхность непосредственно. Движущаяся пара световых точек — парное изображение точечного источника света — представляет собой непосредственно видимое стереоизображение траектории перемещения источника в трехмерном пространстве. Большие зеркала и оборачивающие телескопические окуляры дают правильное соотношение всех глубинных перемещений рисующего светового луча

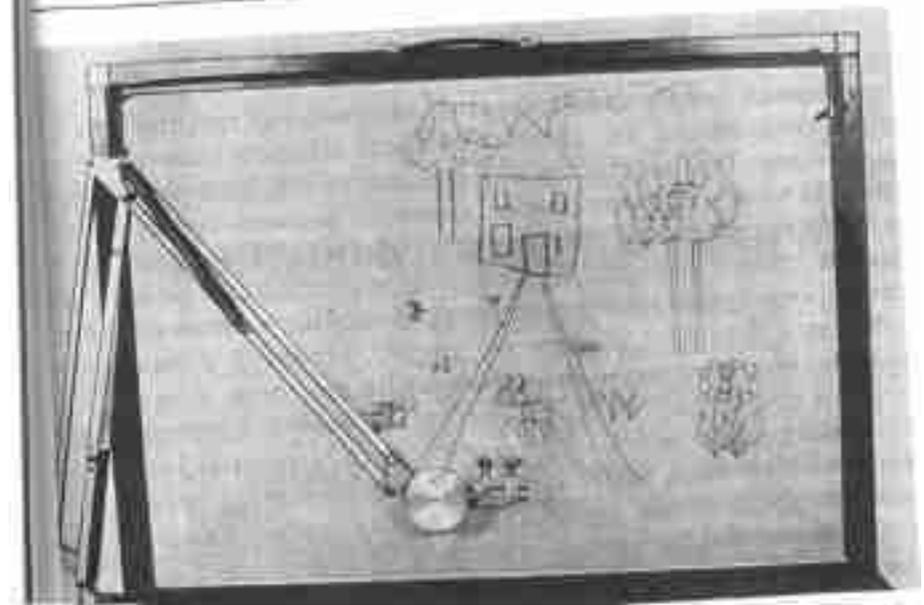
лишь бы при проекции одни части предмета, важные для характера изображения, не закрывали других частей, не менее важных в том же отношении.

Очень интересное приложение теневых проекций стереокартин — демонстрация анатомических моделей и кристаллических структур. Их легко показать большой аудитории на экране любой стандартной величины, причем модель можно вращать, демонстрируя разные ее положения; возникающий при вращении параллакс движения добавляет пространственную информацию. Сочетание информации стереозрения с параллаксом движения позволяет однозначно воспринять даже пространство незнакомых форм, в отношении которых это наиболее трудно и наиболее важно. Если использовать двухцветную (а не поляроидную) стереоскопию, то можно показать в стереопроекции даже полупрозрачные анатомические макеты из пластмассы. Эффективность такого способа наглядного обучения очень велика: видны все внутренние структуры муляжа в точных пространственных позициях сквозь те наружные структуры, которые создают внешнюю поверхность «тела».

Рисовать можно и прямо на бумаге (а еще лучше — на молочном стекле, подсвеченном с обратной стороны) с помощью довольно простого механического устройства. Основа приспособления — пара перьев с разноцветными чернилами (красный и зеленый цвета); перья закреплены в одном держателе; промежуток между ними можно менять (благодаря чему возникает различная удаленность стереоскопически видимых деталей); держатель должен свободно перемещаться над всей плоскостью бумаги (стекла). Чем больше промежуток между перьями, тем ближе окажется нарисованная деталь в стереоскопическом пространстве. Механическое приспособление для закрепления перьев в горизонтальной плоскости и для изменения ширины промежутка между перьями показано на рис. 107.

Это простое устройство можно связать с теневым стереопроектором и рисовать на поверхности молочного стекла<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Это лучше, чем рисовать на шлифованном стекле, поскольку молочное дает более равномерную освещенность; впрочем, при пользовании поляроидами нужно брать именно шлифованное стекло.



**Рис. 107.** Простое механическое устройство для рисования в трех измерениях. Два пера — одно с красными, другое с зелеными чернилами — перемещаются совместно над всей поверхностью листа. Глубина задается изменением расстояния между перьями

Стекло освещают двумя точечными источниками света для получения теневой стереопроекции; в потоке света за стеклом помещают объект и, осветив его, наносят двойные очертания стереоизображения на поверхность стекла. А спроецировав на стекло еще и сетку-шкалу, можно повысить точность рисунка.

Машину для рисования в трех измерениях можно комбинировать и с проекцией стереофотографий. Последние проецируют на поверхность, предназначенную для рисования, а затем обводят — точно или с изменениями — парой цветных перьев. Фактически это открывает целый ряд возможностей, полезных для инженеров, художников-конструкторов, даже для студентов, изучающих медицину, так как многим людям нередко очень трудно ясно представить себе трехмерные структуры и хорошо усвоить их строение и связи по плоским картинам.

Особенно заманчиво выглядит применение трехмерного рисования в проектировании. Обычно, если рисунок двумерный, необходимо как минимум наметить окружающие структуры, чтобы интересующая вас деталь приобрела определенные размеры и позиции. Так, архитектор, пытаясь, например, показать в своих эскизах точное положение окна, вынужден рисовать и часть стены, а также указывать, как расположена эта стена относительно других частей здания. Но предположим, что архитектор еще не обдумал стену; ему нужно показать только определенную позицию окна. Обычным способом сделать это трудно, но рисуя в трех измерениях, проектировщик может поместить свое окно куда угодно, а затем рассмотреть и положение частей здания, пространственно связанных с окном. Другими словами, машины, рисующие в трех измерениях, могут стать очень полезными инструментами для конструирования любых структур, для демонстрации первых набросков и детально разработанных проектов.

Было бы чрезвычайно интересно использовать машины, рисующие в трех измерениях, при обучении, чтобы попытаться повысить точность зрительного восприятия, особенно у детей. Может быть, чаще сочетая активное движение с трехмерным восприятием, удастся обогатить запас объект-гипотез у подрастающего человека; нашим объект-гипотезам не помешала бы большая точность, если учесть сложность и необычность структур, которые современному человеку приходится видеть и проектировать.



## Картины, символы, мысль и язык

Наша способность видеть картину как определенный предмет — картину — и как «вместилище» совсем иных предметов сама по себе замечательна. Но еще более замечательна наша способность использовать определенные формы в качестве *символов*, которые помогают работе мысли и действуют в роли средства общения с другими людьми, отделенными от нас пространством и временем.

История письменности очень богата фактами. Известно несколько древнейших способов письма, благодаря которым изображения символов сохранились до наших дней — на скальных стенах пещер, на бивнях слонов, на костях, на металле, на папирусных свитках в Египте, на кожах, которые употребляли для этой цели семиты, оставившие после себя свитки Мертвого моря.

Интересно, что самые ранние рисунки выполнены во всех случаях не в детальной реалистической манере, а в лаконичном стиле, напоминающем стиль карикатуры; на них, как правило, изображены знакомые вещи, часто — сцены охоты (рис. 108). А вот развились ли лаконичные рисунки на основе более ранних детальных картин или, напротив, пришли на смену рисункам, еще более лаконичным, на которых людей, птиц и зверей изображали с помощью всего лишь нескольких черточек, неизвестно. Ранние китайские идеограммы удивительно сходны с египетскими иероглифами, хотя те и другие возникли независимо. Основная особенность всех идеограмм состо-



**Рис. 108.** Пещерная живопись. Фигуры показаны в напряженном движении, драматизм которого передан очень сильно. Стиль напоминает карикатуру. Повидимому, этот стиль, подчеркивающий самые существенные черты фигур, предшествовал реалистическому

ит в том, что структура знака не передает предмет целиком. Это как бы наброски набросков.

Идеографическое письмо постепенно превратилось в систему знаков, отражающих связь с устной речью того времени. Сначала это произошло с месопотамскими, египетскими, критскими и хеттскими шрифтами; в них, а вслед за ними и во всех остальных постепенно выявилась связь между начертанием идеографических знаков и звучанием слова. Существует два типа письма, различа-

ющихся по роду связи с устной речью. Письменные знаки могут соответствовать либо произносимым *слогам* (силлабическое, или слоговое, письмо), либо *буквам* алфавита (буквенно-звуковое, или алфавитное, письмо). Заметим, что ни символы, используемые слоговым письмом (старинная клинопись и древние иероглифы, а также современные японские и китайские шрифты), ни символы алфавитного письма не утратили полностью своего родства с изображением, с картиной. Язык, впервые достигший значительной полноты, развился в четвертом тысячелетии до н.э.; это был язык шумеров. Шрифт шумерского письма — клинопись. Глиняные дощечки с надписями, выполненными шумерской клинописью, были обнаружены в Месопотамии; расшифровали их в XIX веке. Образцы более ранней письменности, обнаруженные в том же районе, не были клинописными; это было рисуночное письмо, в котором можно различить около 900 различных символов. Последние постепенно упрощались, и в более поздних знаках исходные символы-картины едва различимы. (Любопытно, что при переходе от символов-картин к клинописи сначала изменилась ориентация знаков: примерно в 3200 году до н. э. знаки, вдавленные в поверхность глиняных дощечек, оказались повернутыми «вниз головой» по сравнению с первоначальными символами-картинами. Символы, вырубленные в камне, были повернуты на несколько столетий позднее. Именно эти древние повернутые пиктограммы превратились в клинописные буквы первого письменного языка.)

На этом этапе в простом изобразительном письме появилось важное нововведение. Поскольку знаки использовались не только для обозначения определенных предметов, но и для выражения абстрактных понятий, отдельные знаки приобрели несколько значений — символы стали неоднозначными. Возникшая проблема идентификации значения знака была разрешена с помощью *детерминативов* (определителей). Последние не произносились, а использовались лишь для того, чтобы указать читателю значение символа в данном употреблении. Детерминативы не изобретались специально, их заимствовали из существующих идеограмм. Для того чтобы указать произношение, соответствующее данному символу в данном сочетании, употреблялись другие детерминативы —



Мужчина Женщина

**Рис. 109.** Ранние пиктограммы. Постепенно с развитием письменности изображения становятся все более абстрактными

**Рис. 110.** Ранние китайские пиктограммы. Это рисунки обычных предметов, выполненные в стиле карикатуры. Они удивительно похожи на ранние египетские символы, хотя возникли независимо от них

Мужчина  
Женщина —  
знак полаКонина  
Рыба

**Рис. 111.** Ранняя месопотамская клинопись

почти так же, как в английском языке применяется немое «е», чтобы определить произношение предшествующего слога, к примеру «fin(e)»<sup>1</sup>

Древнеегипетское иероглифическое письмо известно лучше, чем клинопись. Слово «иероглиф» образовано от греческих слов *hieros* (святой) и *glyphein* (вырезать, высекать, гравировать), что значит «священные, высеченные на камне письмена», хотя иероглифы применялись и для текстов, не имевших религиозного

характера. Сами египтяне называли свои письмена «*mdw-ntr*», что означало «речь богов». Не исключено, что «*mdw-ntr*» покажется не слишком легко произносимым звукосочетанием. Египтяне не использовали специальных знаков для обозначения гласных (лишь иногда, в начале слова), хотя в устной речи у них, конечно, были гласные звуки. Правда, иногда, как правило, в текстах учебного характера, например в медицинских текстах, гласные все же фигурировали. Между прочим, можно ведь и по-

<sup>1</sup> Fin [fin] — плавник; fine [fain] — хороший (ая), тонкий (ая) и т. д. — Прим. перев.

английски читать без символов, обозначающих гласные. Например, можно разобрать, что значит «Th gptns wr vr clvr»<sup>2</sup>. Понять смысл такой фразы помогает контекст, но ошибки при чтении неизбежны. Обозначение гласных в тексте особенно важно для правильного чтения вслух, но, возможно, в древности вслух читали нечасто.

Начало иероглифического письма относится к первому отрезку третьего тысячелетия до н. э. Как и клинопись, оно развивалось от пиктограмм к фонетическому письму, в которое в конце концов и превратилось. Один из очень ранних образцов — палетка Нармера — показан на рис. 112. На палетке, которая изображает египетскую армию, поражающую врагов, имеются не только пиктографические, но и фонетические письменные обозначения имен и титулов и потому представляющие особый интерес.

Возможно, что звукосочетания, соответствующие пиктограммам, впервые появились в результате процесса, родственного рождению ребуса или каламбура. Ведь собственные имена, такие, как у правителей страны, нельзя изобразить в виде картинки, хотя вообще некоторые имена и поддаются такому изображению (например, фамилия Горичветов).

Иероглифическое письмо является в сущности двойным письмом, так как каждая мысль представлена одновременно пиктограм-



**Рис. 112.** палетка Нармера, Верхний Египет. Это один из самых ранних образцов египетской письменности; ясно, что стилизованная пиктограмма возникла на основе А<sup>сталь</sup>ных рисунков, сгруппированных в информативной последовательности «рассказа»

<sup>2</sup> Автор, по-видимому, «обезгласил» фразу «The Egyptians were very clever», что в переводе значит «Египтяне были очень умны». — Прим. перев.

мой и фонограммой. Смысл пиктограмм ясен просто из формы лаконичного рисунка, что же касается фонограмм, то их можно понять, лишь зная устную речь.

Назначение детерминативов состоит в том, чтобы избежать, насколько это возможно, неоднозначности, возникающей неминуемо, раз всего несколько сотен пиктографических знаков используются для отображения огромного числа разных предметов, ситуаций, мыслей.

На ранних этапах развития других древних языков (а также на примерах современных примитивных наречий) видно такое же движение — от пиктограмм, изображающих предметы и классы предметов, к абстрактным понятиям, связанным с этими объектами, и к грамматической письменности, связанной с конкретным звучащим языком — живой устной речью. Фонетическими единицами могут служить syllabические символы, как в иероглифическом египетском письме, либо алфавитные знаки-буквы, как в европейских языках. Алфавит — одно из величайших изобретений человека — дает возможность, используя всего около тридцати символов, выразить самые сложные и тонкие мысли, какие только могут возникнуть в мозгу человека. В рамках допустимых комбинаций алфавитных символов заключена своего рода математика смысла.

Примеры успешного использования в письменности таких единиц, где отдельные знаки соответствуют не буквам, а слогам и даже словам, демонстрируют египетская иероглифическая письменность, миноанская письменность, образцы которой найдены на Крите (датируются двадцать восьмым столетием до н. э., а около второго тысячелетия до н. э. этот шрифт переходит в пиктографический), а также китайская письменность четырех<sup>TM</sup> тысячелетней давности. Такие знаки менее удобны, но зато обладают и преимуществами.

Мы знакомы с тем, как высказываются мысли на языках, пользующихся алфавитом, например на английском; здесь первоначальные пиктограммы чувствуются в начертаниях букв лишь как чрезвычайно отдаленное эхо минувшего. А как люди выражали свои мысли с помощью древних знаков-картин, например египетских иероглифов?

Некоторые иероглифические символы за все четыре тысячи лет существования языка не утратили ясного изобразительного сходства с предметом, который они обозначают. Вот некоторые примеры:

змея, I A\* беременная женщина

Имеются и символы, используемые для обозначения абстрактных понятий, например:

движение  $j \setminus >^{сила} \setminus !$   $J \setminus >$  свет или время

Эти символы явно отображают схематизированные объекты — ноги и руки, ассоциирующиеся с движением и силой. Находим мы и такие символы, которые отображают еще более отвлеченные понятия, связанные порой с мистическими или магическими

представлениями, например: зло

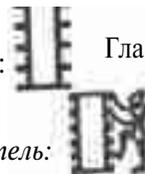


Почти за каждым египетским словом следует идеографический знак — либо изображение объекта, либо символ, отождествляемый с более широким понятием класса объектов. Например, слово

бык может быть написано как U Sa<sup>TM</sup> - Ч W

причем знак  $/\Gamma^{\wedge}$  изображает животное, а знак  $I^{\wedge}$  — шкура — служит обозначением группы четвероногих животных. Этот знак есть детерминатив, указывающий тот общий класс, к которому следует отнести символ быка. Любой знак, в том числе и тот, который является изображением (например, изображением быка), может использоваться не только для обозначения объекта, но и как фонетический символ, обозначающий звук разговорного языка.

Некоторые идеографические символы выражают действие конкретно. Стена или крепость обозначается так:



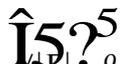
гол строить передается знаком стена плюс строитель:

Многие человеческие действия передаются знаками-картинами, на которых изображены мужчина или женщина в характерной

позе. Вот несколько примеров: *обожать или поклоняться*

*петь* Ц, *терпеть поражение* \), *быть похороненным* или *набальзамированным* а\_\_\_\_\_.

В качестве глаголов используются изображения частей тела: *видеть* или *замечать* , *пла-*

*кать*  9 & также изображения животных или цветов, при-

чем каждый такой знак может иметь несколько близких значений:

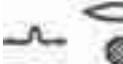
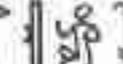
*лететь* или *улетать* , *останавливаться* , *испытывать*

*радость* 

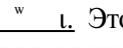
Одна из наиболее серьезных трудностей, которые возникают при передаче мыслей с помощью картин, — выразить отрицание, то есть показать нечто, не имеющее места. Символы, которые указывают на логические связи, часто опускаются; вероятно, они вообще появились далеко не сразу. Давно и часто встречается лишь один символ такого рода — символ, обозначающий *нет*; это как бы рисованный жест:  (обе руки). Другие логические связи записываются так:

*если*  , *или* 

В качестве примера отрицательного высказывания возьмем фразу:

*Я не знаю его*   

Знак отрицания здесь явно выведен из жеста разведения рук. Не исключено, что тот же знак (жест) явился далеким предком нашего собственного математического обозначения вычитания «—».

Ключевым для иероглифического письма явилось изобретение детерминативов, позволивших прочитывать символы-картины однозначно и включать в изобразительную письменность такие вещи, которые невозможно прямо передать рисунком. Особенно интересен детерминатив, обозначающий свиток папируса. Его изображают так: . Это знак, обозначающий абстрактное понятие, которое нельзя зарисовать, можно только назвать — письменно или устно. На ранних этапах развития числа записывали, повторяя знак. Например, чтобы написать *два глаза*, рисовали \*. Позднее для обозначения чисел стали применять специальные символы:

I единицы; J тысячи;  
П десятки; ) десятки тысяч;  
С сотни; ^ сотни тысяч.

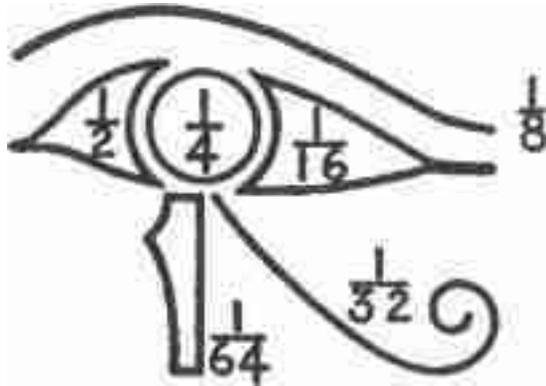
К примеру, число 11 549 записывалось так:

11 £ £ € П П I NM  
£ £ П П I I I

Дроби писали одним из нескольких возможных способов. Старинная система, длительно сохранявшаяся для записи паделов земли и мер кукурузы, основывалась на делении пополам; это весьма любопытная система. Она позволяла записать следующие дроби:

1/2	1/4	1/8
1/16	1/32	1/64

Эти символы входили в изображение глаза — правого глаза Гора (бога Солнца). В древнем мифе, без сомнения отражающем борьбу дня и ночи, добра и зла, бог зла Сет напал на Гора и разорвал в клочья его глаз. Тот — бог учения, разума и правосудия — снова сложил части глаза в одно целое, воссоздав «здоровый глаз Гора». Возможно, разделение и восстановление «Ока солнечного» проникло в фольклор не без влияния наблюдений за солнечными затмениями. Во всяком случае, совокупность знаков, обозначающих дроби, формирует глаз бога так:



Мы дали лишь весьма сжатый очерк проблемы, тщательное исследование которой было бы, безусловно, полезным, поскольку важно выяснить, как история письменности освещает вопросы раннего становления человеческого мышления; не исключено, что такое исследование даст богатые результаты, особенно если мы правы и мышление в самом деле возникло из видения. На первый взгляд - - а наш очерк и есть первый взгляд - - кажется, что древнейшая письменность возникла в форме изображений тех предметов, которые можно было непосредственно показать в рисунке. Дадим таким изображениям-знакам название «картины-существительные». Появление знаков-детерминативов, используемых для обозначения общности картин-существительных, сделало возможной передачу более отвлеченных понятий, поскольку детерминативы позволили избежать неоднозначности при прочтении символа, использовавшегося разными способами. Со временем люди стали применять символы для передачи все более отвлеченных концепций, поэтому проблема неоднозначности становилась все острее, а необходимость в применении детерминативов все росла. Одновременно символы-картины приобретали связь со звучащим словом и начинали использоваться для передачи устной речи. Затем постепенно исходное изобразительное значение символов утратилось, стало трудно угадывать смысл иероглифов из символов-картин, обозначающих слова. Все же там, где это было возможно, смысл продолжал передаваться первоначальным способом пиктографического письма — в картинах, зачастую понятных

и глазу необученного человека. Нашим глазам эти выразительные символы-картины говорят очень многое, воссоздавая жизнь людей и мысли очень давних цивилизаций. Их уже нет, но они говорят с нами из прошлого. В оставленных ими картинах мы видим принадлежавшие древним объект-гипотезы - - единицы их видения и мышления, их разумные глаза.

### Язык — орудие психики

Тот факт, что лишь человек обладает речью, — одна из удивительнейших загадок биологии. Правда, многие животные могут сигнализировать сородичам об опасности; пчелы могут дать знать друг другу о том, что где-то есть нектар, указать, на каком он расстоянии от улья и направление полета к нему. Животные, безусловно, могут выражать свое эмоциональное состояние и воздействовать на поведение себе подобных специфическими звуками. Но, по-видимому, ни одно животное, кроме человека, не обладает способностью обсуждать нечто с помощью последовательной системы знаков — словесных или письменных.

Справедливо также и то, что ни одно животное не может рисовать картин-существительных. Десмонд Моррис показал, что обезьяны рисуют различные паттерны с довольно расплывчатыми очертаниями, но их рисунки никогда не содержат чего-либо, напоминающего предметы. Самые ранние из картин-существительных — наскальная живопись пещер — определенно выполнены человеком.

Похоже на то, что способность воспринимать некоторые формы как символы вещей принадлежит исключительно человеку. Предположение, объясняющее нашу уникальную привилегию пользования речью только большим объемом мозга, не совсем верно. Известна, например, редкая разновидность генетической патологии — микроцефалическая карликовость. Рост взрослого карлика составляет всего около 60 сантиметров, но пропорции тела при этом соблюдены. Соответственно сильно уменьшен в размерах мозг — он меньше мозга взрослого шимпанзе. Весьма вероятно, что число клеток мозга снижено, так как их размеры и плотность расположения не изменены. И все же микроцефалические карлики,

несмотря на значительное уменьшение размера мозга, пользуются речью. По крайней мере они говорят и понимают речь не хуже нормального пятилетнего ребенка, а это неизмеримо больше того, на что способен шимпанзе.

По-видимому, большое значение имеет уникальное свойство человеческого мозга -- функциональная асимметрия. У большинства людей главенствующим (доминирующим) является левое полушарие мозга, причем его доминантность выявляется примерно к тому времени, когда устанавливается речь. При доминировании правого полушария нередко наблюдается дефект речи. Насколько известно, функциональная асимметрия мозга — привилегия исключительно человеческая. Значимость доминирования пока еще неясна, но установлено, что некоторые области левого полушария особенно важны для речи. Высказывалось также мнение, что именно левое полушарие мозга отвечает за «человеческую» сущность человека; согласно наблюдениям людей, утверждающих это, травмы левого полушария приводят к превращению человека в обезьяноподобное существо. Такой человек видит, довольно правильно реагирует на обычные предметы, но утрачивает способность ориентироваться в символах и использовать их. Похоже, что для использования символов и обеспечения речи важны не размеры, а именно особенности строения человеческого мозга.

Необходимо помнить, что зрительное восприятие — понимаемое как способность правильно реагировать с помощью зрения не только на видимые, но и на невидимые свойства предметов — имеется и у животных, стоящих на эволюционной лестнице много ниже человека. Заметим к тому же, что животные, находящиеся на уровне развития собаки, кошки или белой крысы, способны к решению довольно сложных проблем поведения, которые можно отнести к разряду проблем, требующих «разумности». В лабораторных условиях (в экспериментах с лабиринтом) крысы нередко обнаруживают способность к «инсайту»<sup>31</sup>. Установлено, что крыса обычно выбирает кратчайший из нескольких возможных путей,

<sup>31</sup> Термином «инсайт» в психологии обозначают решение задачи, совершаемое скачком, «по озарению», а не путем последовательного перебора разных способов. — *Прим. перев.*

ведущих к выходу из лабиринта. Если этот путь затем преградить, крыса выбирает кратчайший из оставшихся, причем для этого ей нет надобности снова исследовать весь лабиринт. Учитывая, что даже во время изучения лабиринта ошибки при поисках пути не случайны — они совершаются в направлении целеустремленного поиска, — приходится заключить, что во время обучения в мозгу крысы формируется некая внутренняя «карта» лабиринта, используемая в дальнейшем для выбора пути.

Известно, что в мозгу крысы формируются простые «гипотезы», которые животные последовательно «проверяют». В эксперименте, ставшем классическим, крысу окружали со всех сторон закрытые двери, под каждой дверью располагался световой сигнал. В любом отдельном опыте включался лишь один сигнал и отпиралась только одна дверь. Крысе предстояло проникнуть через незапертую дверь в помещение, где ее кормили. В противном случае, прыгнув и наткнувшись на запертую дверь, крыса падала и начинала свои попытки снова. Единственным указанием на незапертую дверь служило положение светового сигнала: его зажигали либо под незапертой дверью, либо справа от нее, либо в другой возможной относительной позиции. Крысы начинали с проверки какой-либо одной «гипотезы», например: «нужная дверь расположена справа от света», и где бы ни вспыхнул свет, крыса прыгала на дверь, расположенную правее; если ряд последовательных попыток такого рода заканчивался неудачей, крыса переходила к другой гипотезе и так далее, пока, наконец, не достигала успеха. Основной вывод из этих наблюдений следующий: крысы вели себя не случайным образом, пробуя подряд различные варианты сочетаний «дверь — свет», они выдвигали одну «гипотезу» за другой и каждую систематически проверяли.

Животные обладают также способностью применять выученные виды поведения к несколько измененным ситуациям. Другими словами, некоторая «гибкость тренировки» позволяет животным использовать приобретенные в опыте навыки для преодоления обновленных затруднительных ситуаций.

В то же время совершенно справедливо мнение, что «разумность» животных чрезвычайно ограничена в сравнении с разумностью детей, достигших возраста овладения речью.

К сожалению, мы не знаем, что именно является истоком происхождения человека — *использование языка* или сама *способность* к овладению речью. (Известные случаи, когда дети вырастали среди волков и не имели возможности в раннем периоде развития познакомиться с речью, не удовлетворяют нас. Не исключено, что дети были умственно неполноценными с самого начала: есть все основания считать, что столь ненормальная обстановка в раннем периоде роста ребенка неминуемо должна привести и к другим отклонениям в его развитии.)

Речь всегда привлекала внимание философов, поскольку слово — инструмент философии. На ранних этапах развития философской мысли в слове видели атрибут предмета, а не название, которым человек снабдил предмет. Жан Пиаже показал, что детское мышление именно так трактует названия предметов — как свойства последних; но такова же была трактовка зрелого Аристотеля — он считал слово частицей сущности предмета. Такой философский взгляд на связь слов и вещей чрезвычайно далек от современного.

Ясно, что названия вещам, ситуациям, ценностям и концепциям дает человек. Высказывание «Вначале было Слово» относится к области поэзии, мы никак не можем принять такой порядок исторического возникновения языка. В то же время среди лингвистов довольно широко распространено убеждение, что речь имеет и врожденные корни. Конечно, названия вещей во многом условны, но имеется достаточное количество фактов, указывающих на общие структурные свойства разных языков, причем эти свойства отражают некоторые черты, характерные для процесса переработки информации в мозге человека. Если это верно, то для понимания законов речи очень существенно изучение принципов функциональной организации мозга, а понимание структуры речи в свою очередь может дать сведения о том, как работает мозг.

Мы принимаем, что восприятие — прототип мышления. Концепции возникли из гипотез о внешних объектах, которые сначала были прикованы к предметам и классам предметов, но позднее уплыли из-под сенсорного контроля, чтобы выйти в русло абстрактной мысли и символического языка.

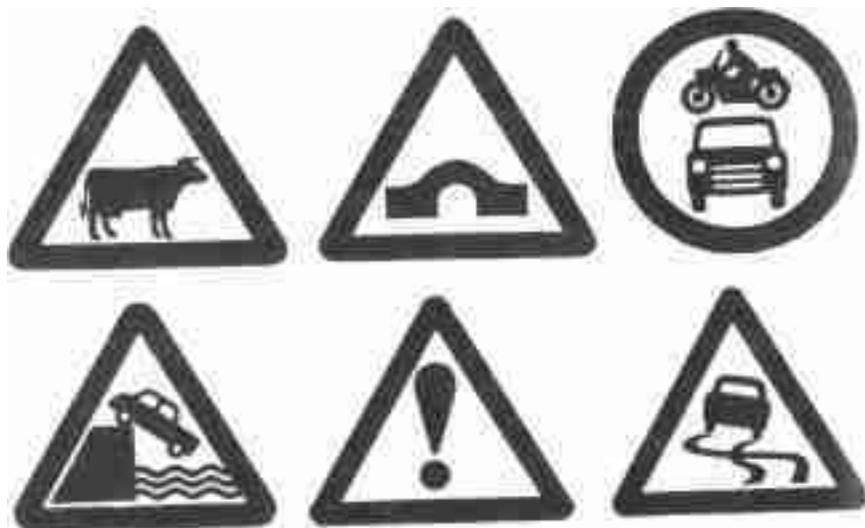
В «Биологических основах речи» Леннеберг пишет:

*«Концепции суть матрицы, налагаемые на то, что дается непосредственно», они суть способы упорядочения и соподчинения сенсорных данных. Концепции не являются только продуктом (индивидуального) человеческого сознания, но формирование концепций — это и есть процесс познания. Хотя этот процесс не является исключительно человеческим по природе... только человеку свойственна особенность обозначать словами определенные виды процесса формирования концепций».*

Восприятие и у животных протекает с участием процесса активного формирования концепций<sup>4</sup> но лишь человек может давать своим концепциям названия и оперировать ими с помощью речи. Мы используем речь для того, чтобы извлекать и сопоставлять наши концепции, для того, чтобы четко формулировать их — и тем самым подвергнуть испытанию со стороны других людей. Язык дал людям возможность сталкивать идеи между собой, выявлять ошибочные концепции и с помощью взаимной критики исправлять недостатки опыта и понимания. В наиболее отточенной форме такая роль языка выступает при обучении. Устная и письменная речь позволяет нам излагать свои мысли последовательно и параллельно, хотя собственно языковые концепции — категория над индивидуальной.

Судя по древней истории письменности (например, по египетской иероглифике), ее началом, было рисование картин, содержащих существенные детали предметов и ситуаций. По мере того как понятия становились все более абстрактными, способ их выражения требовал все более тонких средств — рамки картины становились тесными для языка. Картины постепенно превратились в формальные символы, в упорядоченную речь. В нашей

<sup>4</sup> Речь, по-видимому, идет о том, что высокоорганизованные животные обладают способностью выделять объективные признаки реальности и ориентироваться по этим признакам; именно поэтому поведение животных биологически целесообразно. Выделение объективных признаков — активный процесс. Основное отличие человеческих концепций: человек знает, что он *знает*, так как для него существует категория «объективное»; психика животных не содержит этого понятия. — *Прим. перев.*



**Рис. 113.** Современные пиктограммы. Эти знаки — международные; их значение понятно людям, говорящим на самых разных языках, вследствие общности опыта людей в обращении с предметами, а не с языковыми символами и другие условными знаками; точно так же возникали ранние письменности

письменности мы все еще различаем мумифицированные черты ее картинных предков.

Главным предметом мышления являются объекты — их свойства, явные и скрытые, поскольку именно это знание необходимо для сохранения жизни. И прежде всего мышление занято предсказанием ближайшего будущего, а если надо, и планированием его изменений, направленным на то, чтобы избежать вра или добиться успеха. Любопытно, что содержание и предмет раннего письма -- это не философия и не абстрактные размышления, а списки имущества, описания победных войн и тщательно разработанных ритуалов погребения покойников. Чрезвычайный интерес египтян к смерти был, по-видимому, продиктован не мыслями о сущности жизни, а стремлением обеспечить продолжение уезы земной на небесах.

Сэр Алан Гарднер, автор замечательной «Египетской грамматики», пишет:

*«Наиболее поразительной особенностью египетского языка на всех этапах является его конкретный реализм, сосредоточенность на материальных предметах... Оттенки мысли, заключенные в таких словах, как „возможно“, „следовало бы“, „едва ли“, а также абстракции вроде „причина“, „побуждение“, „долг“ принадлежат более поздней стадии развития языка... Несмотря на то что греки приписывали египтянам бездну философской мудрости, египтяне, как никакой другой народ, обнаруживают отвращение к отвлеченным рассуждениям и полную погруженность в материальные интересы».*

Если верно, что с развитием письменности мышление постепенно стремилось к абстракциям, освобождаясь от конкретных перцептивных представлений, то чисто умозрительно можно заключить, что для развития мышления были необходимы символы, так как именно они освободили мозг от тирании сенсорного восприятия. Можно сказать, что тому же делу всегда служат художник и ученый.

Чтобы решить, что стоит какой-нибудь инструмент или иное орудие, нужно всего лишь оценить эффективность его применения. Преимущества новой машины на фабрике оцениваются по увеличению производительности труда. Если последняя возрастает очень заметно, становится ясно, что предыдущая машина была относительно малоэффективной. Таким образом можно узнать не только эффективность новой машины, но и ряд свойств ее предшественницы. Возьмем более простой пример, скажем труд плотника; даже при поверхностном знакомстве становится ясно, что без рубанков, пил, сверл работа не может и начаться. Обнаружив это, мы сразу же решим (это мог бы понять даже марсианин), что руки человека не приспособлены к тому, чтобы с их помощью пилить, строгать, сверлить.

Применим теперь эту аргументацию к исследованию умственной вооруженности человека. Хорошо известно, что простейший инструмент — *счеты* — колоссально увеличивает скорость и надежность арифметических действий, выполняемых человеком. Отсюда следует, что человеческий мозг не очень эффективно справляется

ся с теми задачами, для решения которых нужно хранить числа наготове и быстро и правильно оперировать ими. Наши способности к счету столь плохи, что даже несколько бобов, нанизанных на палочки, во много раз улучшают эффективность счета, а механические медленные арифмометры считают вообще лучше, чем мозг.

Отталкиваясь от этого, мы можем предположить, что символы, расположенные в соответствии с определенными правилами, то есть письменная речь, служат для восполнения тех недостатков в работе мозга, которые роднят человека с животными. Если отобразить у человеческого мозга символику, которой он пользуется, остаток окажется довольно жалким.

Нас привлекает взгляд на восприятие как на процесс, который реализуется в мозге и подобен логическим процессам, например таким, которые используются при получении и интерпретации научных данных, при формулировании различных гипотез, проверяемых затем путем спланированных наблюдений. Собственно, мы можем смотреть на науку как на своего рода опосредствованное восприятие. В науке широчайшим образом используются языковые и математические символы; ее аргументация подчинена своду общепринятых правил. Настоящая наука требует, например, соблюдения следующих правил: допущения должны быть недвусмысленными; методика исследования и измерения должна быть точно описана; выводы, сделанные на основе допущений и измерений, должны быть получены как можно более ясным путем. Прошло очень много лет, пока из мифов и магии не выросло отчетливое, рациональное, формализованное и, как оказалось, очень мощное здание науки — инструмента, необходимого для понимания и преодоления сил природы.

Мы встретились и с такими фактами, которые показывают, что система восприятия далека от полного «рационализма». Например, в тех случаях, когда по двум (или более) параллельным сенсорным каналам притекает противоречивая информация, восприятие логически парадоксально. Ученый трактует парадокс, возникший в результате противоречия данных, как ясное указание на какую-то ошибку, возникшую либо вследствие использования неверных приборов, либо из-за погрешности в вычислениях. Во всяком случае, он не оставит явный парадокс в покое и попытается найти

однозначное решение. Но в процессе восприятия все иначе: при аутокинетическом эффекте мы видим свет одновременно неподвижным и движущимся; эффект последствия движения содержит такой же парадокс; после адаптации одной руки к холодной воде, а другой к горячей теплая вода воспринимается одновременно как горячая и холодная.

Отправляясь от того, что восприятие допускает парадоксы, можно, по-видимому, вывести важное философское следствие. Принимая, что мы познаем внешний мир по тем сведениям, которые дают нам органы чувств, мы должны допустить, что обучение необходимо не только для того, чтобы узнать явления, которые физически возможны, но и для того, чтобы узнать, какие явления физически *невозможны*. Другими словами, принимая философию эмпиризма, мы обязаны ожидать, что ситуации, невозможные физически и даже логически, не будут автоматически отвергаться нервной системой. Невозможное не определено заранее, *до опыта*, как не дана до опыта и истина, которую мы открываем, укладывая факты в «разумном» порядке. Нам недостает экспериментальной философии!

Философы-эмпирики XVIII века считали восприятие пассивным процессом; мы теперь понимаем восприятие как процесс активного построения и апробирования гипотез, процесс, который не остается совершенно неизменным в течение жизни индивида. Это значит, что мы не можем рассматривать «сырые» сведения, поступающие от органов чувств, как законченные отдельные факты, из которых строится знание, подобно тому как из отдельных кирпичей возводят дом. Все восприятие пронизано теоретическими построениями. Более того, перцептивные гипотезы нередко серьезно расходятся даже с самыми прочными убеждениями нашего интеллекта. Такое расхождение мы видим, например, сравнивая наши знания о расстоянии до Луны и о ее размерах с тем, как мы воспринимаем Луну. Мы видим Солнце движущимся поперек небосвода, хотя точно знаем, что земля, на которой мы стоим, движется по отношению к «неподвижным» звездам; для нас легче *предположить*, что Земля вращается, но *видеть* — что она неподвижна по отношению к Солнцу, которое движется по небу. Примитивные верования разделяются именно тем, как мы *видим* вещи.

Не составляет труда показать, что мышление, основанное на восприятии, совершает ошибки, когда ситуация выходит за рамки непосредственно воспринимаемой последовательности событий. Так, все мы в детском возрасте не раз складывали листок бумаги; став взрослыми, мы складываем каждый день письма, газеты. Вообразите, что вам предстоит выполнить следующую операцию. Вы берете лист папиросной бумаги толщиной в сотые доли миллиметра, очень широкий (чем шире он будет в вашем воображении, тем лучше). Теперь сложите лист вдвое, затем еще раз вдвое — двойная толщина листа при этом опять удвоилась. Повторите складывание пятьдесят раз. А теперь скажите — какова толщина сложенного листа? На этот вопрос люди обычно отвечают неодинаково: от 6 сантиметров до 1 метра. А правильный ответ состоит в том, что толщина сложенного листа примерно равна расстоянию до Солнца! Выходит, достичь Солнца столь же просто, как пятьдесят раз сложить лист папиросной бумаги! Абсурд? Тем не менее это так. Математическая концепция возрастания физических величин по степенному закону явно не очень хорошо представлена в наших перцептивных моделях — потому-то интуиция так внезапно и сильно нас подвела. Подходя к задаче математически, мы видим, что  $2^{50}$  должно быть очень большим числом. Поэтому, чтобы включить в сферу восприятия те аспекты мира, которые недоступны прямому чувству, нам необходимы символы. Расхождение между математически правильным ответом о толщине сложенного листа (150 миллионов километров) и интуитивно «правильным» ответом, основанным на восприятии (около 150 миллиметров), составляет около  $10^{12}$ . Это расхождение неимоверно велико.

Итак, мы видим, что перцептивные модели реальности могут содержать парадоксы и неимоверно расходиться с реальностью, когда ситуация требует выводов, основанных на экстраполяции. Такие ограничения, свойственные самой природе восприятия, могут вполне ощутимо мешать работе физика. Физические теории, считавшиеся верными вплоть до конца XIX века, были все без исключения вполне совместимы с восприятием знакомых предметов, более того, эти теории были прямо связаны с восприятием. Моделью орбиты небесного тела служил раскрученный на ве-

ревке камень; атомные взаимодействия описывались по аналогии с взаимодействием бильярдных шаров; эфир уподобляли студню, передающему вибрации света. Неприятности начались после того, как было показано, что реальность, описываемая физикой в терминах восприятия знакомых предметов, становилась парадоксальной, если такие описания подвергали строгой экспериментальной проверке. Свет имеет двойную природу: это и волны, и частицы; ни один предмет не может иметь такой природы. Скорость света никак не менялась при измерении ее по направлению вращения Земли и под прямым углом к этому направлению, а это невозможно, если среду, сквозь которую движется свет, представлять себе на основании обычных сенсорных данных.

Физика XX века почти избавилась от вековых перцептивных моделей реальности. Основные концепции квантовой физики и некоторые положения теории относительности не имеют никаких предметных подобий даже в субъективных представлениях физиков; поэтому современному физика зачастую бывает нелегко «интуитивно» прошупывать свой предмет. В этом кроется одна из причин того, что математические способы и машинное моделирование играют все более существенную, нередко доминирующую роль в современной физике.

Но в этом положении есть и забавный штрих: в некотором смысле физик не может теперь доверять собственному мышлению — он должен полагаться больше на обусловленные правила символических систем. Физика, ее открытия и озарения стали недоступны ученым -- нефизикам, большинство которых не может следить за направлением развития современной физики, а между тем физика претендует на роль основополагающей науки для всех областей естествознания.

Быть может, нам удастся примириться с ситуацией, если мы поймем, что она является прямым следствием достижений человечества: развития языка и развития измерений. Язык дал человеку возможность ясно и определенно выражать логические и числовые связи; измерительная техника позволила человеку увеличить точность и широту восприятия. Эти два решающих достижения человека отделили его от прочего животного царства и позволили ему совершить необыкновенный шаг — перейти к описанию мира,

совершенно отличному от того, который воспринимается человеком непосредственно. Поэтому физики и живут в мире двойных представлений — нормальные объект-гипотезы уживаются рядом с абстрактным и нередко противоречивым символическим описанием реальности.

Первые инструменты лишь уточнили то, что органы чувств сигнализировали мозгу. Мы можем довольно хорошо оценивать длину и угол, но линейки и угломеры добавляют к этим оценкам точность, необходимую даже для примитивной техники. Самые элементарные плотницкие работы, не говоря уже о строительстве, были бы невозможны без таких инструментов. Кстати, точность, достигаемая при пользовании простейшими измерителями, поистине удивительна: Великая пирамида была построена из каменных блоков, нарезанных с ошибками, не превышающими нескольких миллиметров. Здесь уже ясно виден разрыв между мышлением и сенсорным восприятием, ограниченность которого послужила толчком к появлению новых средств оценки, порожденных мышлением; этот разрыв, все расширяясь, привел нас к современной теоретической физике, непосредственное восприятие объектов которой вообще невозможно.

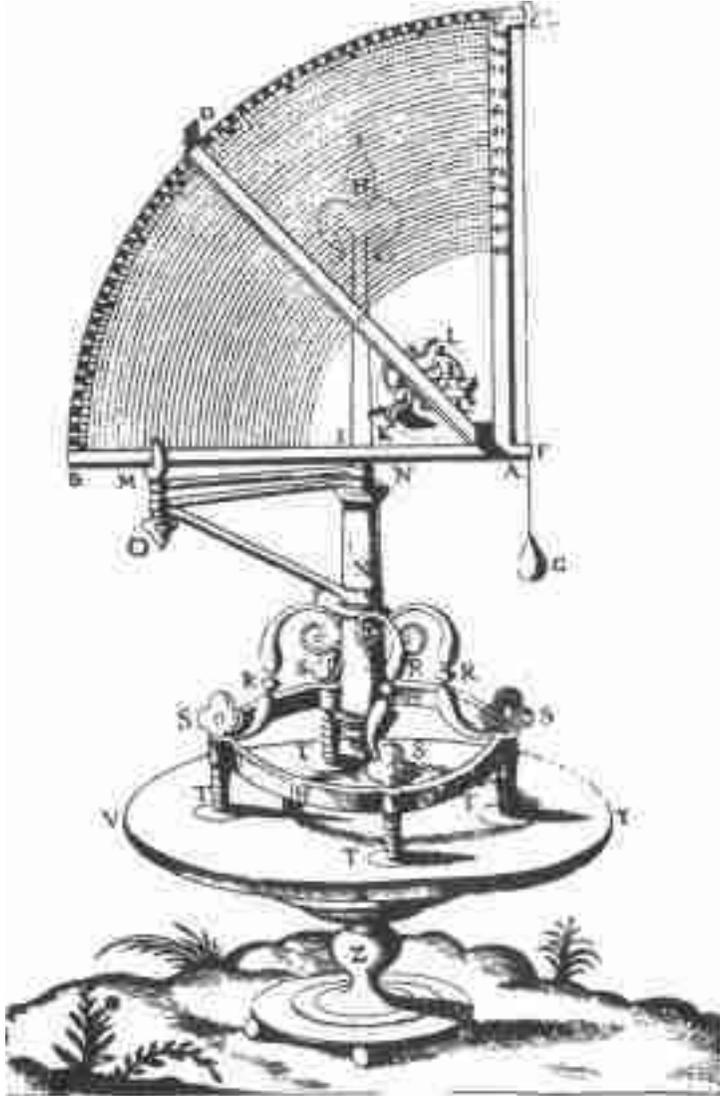
Итак, мысленные построения, которые вначале использовались только для управления поведением в отсутствие сенсорной информации, пригодной для прямого контроля поведения, «материализовались» и стали общественным достоянием. Первым этапом «материализации» были картины, затем — символы все возрастающей абстрагированности<sup>TM</sup>; в конце концов мы получили орудие, позволяющее формально выразить упорядоченную последовательность логического обсуждения проблем, да и саму структуру мысли. Если мысль есть упорядоченная активность нервных цепей, то языковые системы мы можем представить себе как продолженную активность мозга, и в этом случае письменность — лишь первый шаг к машинам, способным самостоятельно мыслить.

Современные приборы обнаруживают и измеряют «вещи», которых органы чувств никогда не «показывали» мозгу. До появления таких приборов, как радиоприемники и фотоаппараты с пластинками, чувствительными к невидимым лучам, огромный

регистр электромагнитного спектра был неизвестен человеку, который знал только свет и тепло. С появлением более современных приборов человек — и только человек — узнал много новых основополагающих сведений о мире и вследствие этого еще дальше отошел от своих животных предков. Особенно заметно выступает роль новых знаний в истории астрономии. -

Человек наблюдал ночное небо невооруженным глазом в течение многих тысячелетий. Различными способами результаты этих наблюдений регистрировались, должно быть, начиная с очень отдаленных времен, вследствие чего появились календари и стало возможным предсказание затмений. (Есть предположение, что Стоунхендж — астрономический указатель для предсказания затмений<sup>5)</sup>) Данные, добывавшиеся с помощью простых астрономических приборов — квадрантов (рис. 114) — позволяли не только довольно точно подсчитать движение планет в трехмерном пространстве, но и проверить эти подсчеты. Прямым наблюдением трудно было определить положение небесных светил, тем не менее полученные измерения (особенно в работах датского астронома Тихо Браге) позволили немецкому астроному Иоганну Кеплеру сформулировать его знаменитые три закона движения планет, из которых затем были выведены ньютоновские «Начала» и ньютоновское математическое описание вселенной. И все же здание, построенное Ньютоном, состоит из «кирпичей», соответствующих категориям и силам, непосредственно воспринимаемым органами чувств. Его вселенная — это все еще сочетание тяг и толчков, плотности, тепла и формы. (Так называемые «вторичные качества», например цвет, не имели вполне четкого статуса, поскольку они существенно зависели от *наблюдателя* и потому не считались вполне объективными, вполне «внешними».)

<sup>5)</sup> Стоунхендж (Stonehenge) — остатки грандиозного каменного сооружения из гигантских глыб, находящегося на равнине Солсбери (графство Девоншир, Англия). Каменные глыбы были расположены двумя правильными кольцами; вокруг внешнего кольца был насыпан земляной вал. Предполагается, что это колоссальное сооружение было воздвигнуто во втором тысячелетии до н. э. и служило древним Читателям Британских островов как храм, так и своеобразным календарем, помогающим определить моменты солнцестояний и равноденствий, а также фаз Уны. — *Прим. перев.*



**Рис. 114.** Астрономический квадрант. Этим инструментом пользовался Тихо Браге. Он сумел точно измерить расстояния до звезд, что позволило ему проверить гипотезу о строении вселенной

Телескоп сделал возможным первое приложение земных функций (развившихся на Земле в процессе биологической эволюции и обеспечивающих различие форм и построение объект-гипотез в рамках нашего восприятия) к соответствующим характеристикам небесных тел. Разрешающая сила телескопа дала человеку возможность увидеть новые небесные тела, причем не только новые звезды, но и столь поразительные объекты, как луны Юпитера. «Несовершенства» небесных тел — пятна на Солнце, горы и тени долин на Луне (которая оказалась не полированным золотым диском, а планетой, похожей на Землю своим рельефом) — потрясли древние, прочно укоренившиеся представления людей; удар почувствовали сильнее всех те, кто верил в силу философии, основанной лишь на восприятии и рассуждении, кто отрицал значение приборов и наблюдений. Простой факт существования звезд, невидимых невооруженным глазом, вызвал сомнения в истинности старинного представления о небесах как о бархатном заднике сцены, на которой разыгрывается лишь один спектакль: драма человечества. А это в свою очередь умалило и значимость этого спектакля для вселенной; более того, под сомнение встало даже наличие пьесы и существование ее Автора...

Кажется странным, что изогнутые поверхности стекол — линз телескопов и микроскопов — смогли так изменить представление человека о себе самом. Но это факт — именно стекла показали нам, что мы живем чуть ли не на задворках вселенной.

Нетрудно догадаться, почему человек начал думать о звездах очень по-личному. Путешествуя ночью — пешком или верхом на лошади, — человек видел, что звезды и Луна сопровождают его в пути. Мы-то, конечно, знаем, в чем тут дело: звезды и Луна настолько удалены от нас, что мы не видим их относительного перемещения в сторону, противоположную направлению нашего движения; поэтому — относительно видимых земных предметов — они кажутся движущимися в том же направлении, в котором перемещается путешественник. Стоит один раз усвоить геометрию и принципы шкалирования, как вера в тесную личную связь со вселенной уйдет навсегда. На место, освободившееся от астрологии, встанет астрономия. А человек волен выбирать — либо он будет



*m*

**Рис. 115.** Планетарий — простейшая физическая модель солнечной системы. Движения планет представлены сферами, укрепленными на рычагах. Это формальное подобие, реальной планетной системы помогает нам лучше представить ее себе при условии правильного выбора главных параметров

чувствовать себя одиноким в огромной холодной пустоте вселенной, либо примет стройное, но не доступное восприятию здание, построенное наукой.

Радиотелескопы добавили нам знания о звездах; эти знания также лежат вне пределов сенсорного восприятия. Причем радиотелескопы даже не являются прямым продолжением нашего зрения; они несут совершенно новую информацию и с ней — новые сюрпризы. Последний из них — пульсары, посылающие во вселенную вспышки радиоактивности с точными интервалами порядка одной секунды.

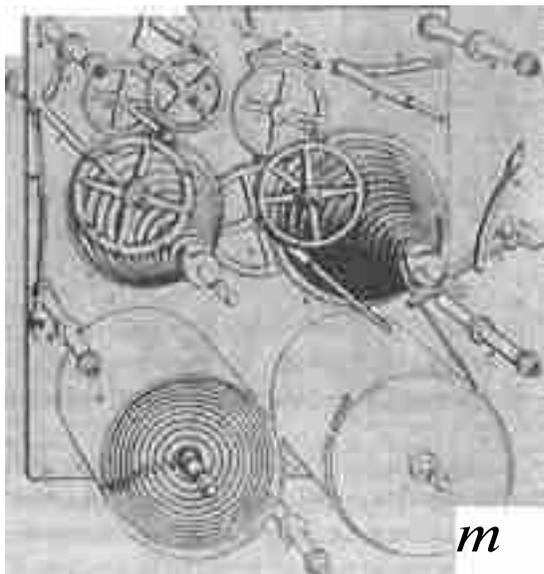
Нам придется научиться жить среди несенсорной информации и возникающих из нее мыслимых, но не воспринимаемых концепций физики. Перед нами стоит вопрос: в какой мере мозг человека способен справиться с концепциями, чуждыми опыту, полученному с помощью органов чувств? Наше будущее зависит от того, каким будет ответ на этот вопрос.

## Зримая суть вещей

Иногда, глядя на машину или на какой-нибудь процесс, мы можем «увидеть», как работает эта машина или как осуществляется процесс. В этом случае проявляется наша способность «читать» функцию по структуре.

Люди, выросшие в условиях цивилизации машин, «видят», что если большая шестерня связана цепной передачей с шестерней малого диаметра, то первая будет вращаться медленнее второй. Мы способны «увидеть», что велосипед с большим задним колесом поедет быстрее велосипеда с малым задним колесом, хотя и то и другое колесо будут иметь одну и ту же скорость вращения. Совсем не так очевидна причина, по которой велосипед не падает набок, даже когда катится с горы без седока. Инженеры умеют «видеть» рабочую функцию деталей весьма сложных систем. Очень интересная задача — исследовать механизм часов (рис. 116) и попытаться увидеть функциональное значение колесиков, пружин, крючкового спуска с его хитро изогнутыми налетами, без которых часы работать не могут. Если удастся верно «увидеть» это, то можно сказать, что наши объект-гипотезы, относящиеся к часовому механизму, достаточно общи и точны для описания принципов функционирования этой системы. Именно богатство наших объект-гипотез позволяет нам иногда прочесть функцию по структуре.

Пространственное расположение частей, форма каждой части чрезвычайно важны для работы любой механической системы. Ясное изображение механической системы может быть очень богато информацией, поскольку картина хорошо передает информацию о структуре (правда, как мы убедились, с некоторой долей неопре-



**Рис. 116.** На этом изображении механизма часов Чарльз Бэббедж в 1826 году показал, что функцию по структуре «прочитать» можно, но с некоторыми ограничениями. Изобретая первую вычислительную машину, Бэббедж разработал и специальную символику для обозначения функций, выполняемых разными деталями машины

деленности), а именно структура важна для того, чтобы уразуметь механику.

Что же касается электронных систем (в эту категорию мы можем включить и нервные системы, в том числе мозг), то они гораздо меньше зависят и от точного пространственного расположения составных элементов, и от их формы. Конденсатор или сопротивление будут хорошо работать независимо от того, какую именно форму для них мы выберем из большого числа возможных форм. Несомненно, это же справедливо и в отношении нервных клеток. Короче говоря, те сведения о структуре, которые могут быть переданы ее реалистическим изображением, дают очень слабое представление о функции электронных или нервных систем в сравнении с тем, что они позволяют узнать о механических систе-

мах. Зрительная информация, сыгравшая огромную роль в истории развития человека, да и других видов животных, благодаря своему значению дистантного анализатора мира, состоящего из объектов, непосредственно доступных осязанию, отступает на задний план в научном исследовании объектов, функции которых не определяет даже их осязаемая структура.

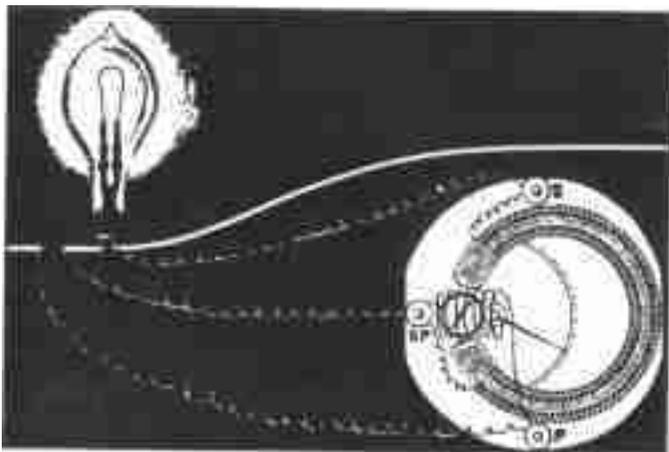
Тем не менее радиоинженеры умеют\* «читать» электронные схемы. Рассмотрев детали схемы и способы их соединения, радиоинженер видит функциональное назначение схемы и ее деталей.

История символов, используемых в электронике с начала нашего столетия, аналогична эволюции пиктограмм древней письменности. Сначала символы представляли собой просто реалистические изображения деталей. Всего за несколько лет электронные «пиктограммы» упростились: внешнее сходство ушло безвозвратно, выделились те формальные признаки деталей, которые определяют функциональное назначение каждого компонента схемы. Символы стали отображать функцию, а не структуру, и форма символа уподобилась «абстрагированной карикатуре» объекта. На рис. 117-120 показаны примеры эволюции символов, используемых для передачи сведений об электрических цепях; срок этой эволюции — всего пятьдесят лет.

Чтобы разобраться в символах современной электроники, необходимо хотя бы кое-что знать о теоретических основах этой науки и совершенно обязательно понимать логику электронных схем. Символы — это слова, элементы языка, возникшего на основе потребности передавать сведения об особом рода процессах и взаимодействиях.

Можно сказать, что именно язык -- речь, язык математики и специализированные «языки» (например, символический «язык» электроники) -- позволяет нам изучать возможные последствия предполагаемых действий, которые совершаются в сферах, недоступных ни сенсорному восприятию, ни реалистическому изобразительному мастерству.

На современной стадии развития языков символами пользуются уже не только для отображения одних физических структур (их можно передать, пусть даже несовершенно, изобразительными средствами), но и для отображения структур, относящихся к не-

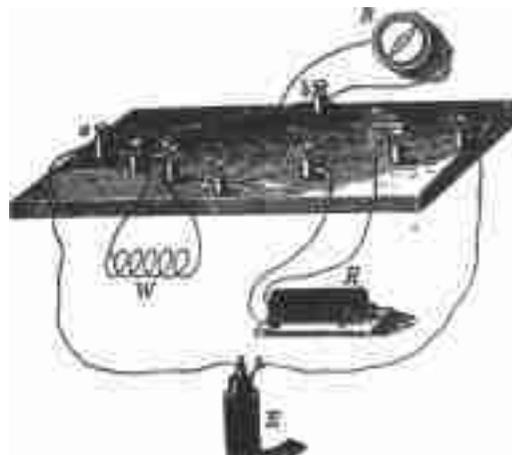


**Рис. 117.** Ранний рисунок мостика Уитстона (1884). Так начиналась современная «иероглифика». На этой стадии детали еще рисовались так, как они выглядят, без акцента на их функциональных свойствах

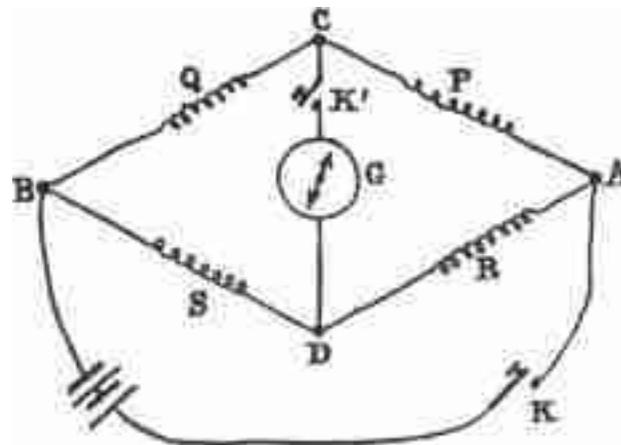
материальной сфере мысли, для которой механические свойства объектов не всегда существенны.

Мозг, как и любая другая функционирующая система, интересен с весьма различных точек зрения. Далеко не во всех случаях можно в принципе отыскать наилучший способ описания системы — общественной, экономической или инженерной; то же самое справедливо в отношении мозга и его функций. Чтобы найти ответ на длинный ряд вопросов, нужно прежде всего знать строение мозга — как видимое невооруженным глазом, так и воспринимаемое в свете обычной и электронной микроскопии. Например, для понимания некоторых функций мозга необходимо узнать типы и количество клеток в разных его областях, выявить связи между клетками и т. д.

Структурное описание электрической цепи имеет значение в тех случаях, когда для функционирования системы важен способ расположения компонентов цепи и распределение связей между ними. Что касается отдельных характеристик, то они включаются в описание только в том случае, если изменение данной характеристики приведет к изменению характеристики системы в целом. Поэтому ни окраска, ни форма деталей, как правило, не указы-

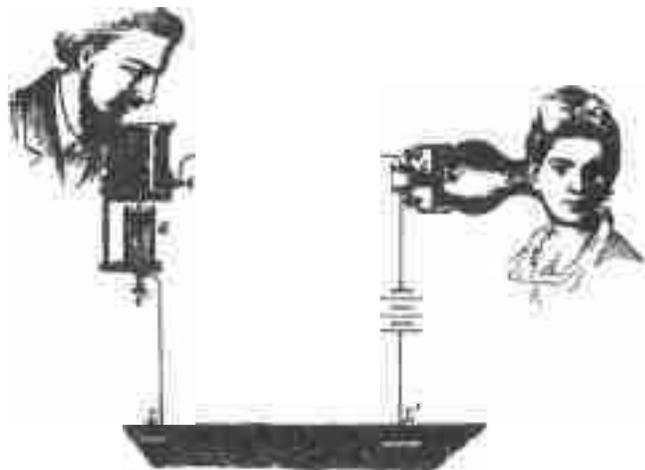


**Рис. 118.** Более поздний рисунок мостика Уитстона (1890). Видна некоторая стилизация рисунка, подчеркнуты функциональные признаки деталей



**Рис. 119.** Еще более поздний рисунок мостика Уитстона (1898). Компоненты цепи изображаются уже с помощью условных обозначений-символов, раскрывающих посвященному суть дела

ваются в принципиальном описании системы: изменение таких характеристик не влияет на параметры ее входа и выхода. А вот регистрация изменений параметров входа и выхода системы, про-



**Рис. 120.** Рисунок из учебника по электричеству 1890 года издания. Здесь совмещены три способа изображения системы связи, каждый из которых, по-видимому, отражает и развитие знаний об элементах этой системы

исходящих в результате замены тех или иных деталей схемы, часто служит основным способом определения важности этих деталей для функционирования всей системы, а также для того, чтобы разобраться в устройстве системы. К этому необходимо сделать одно замечание: если мы произвели изменение структуры и за этим не последовало *никаких* явных изменений функции, мы все же не вправе заключить, что порядок вещей, предшествовавший изменению, несуществен — системы могут приспосабливаться (адаптироваться) к изменениям частного характера. Иногда функцию удаленной или измененной нами детали принимает на себя другая деталь системы. Заключить, что прежняя деталь была «излишней», было бы неверно, хотя и соблазнительно. В тех случаях, когда между структурой и функцией нет ясно видимой связи, очень трудно понять функциональную организацию системы, пользуясь только способом регистрации изменений, происходящих в ее работе после замены или изъятия деталей.

Именно в этом — основная беда неврологии. Мы отображаем Функции с помощью символов — другого выхода нет. И символы замещают собою оригинал, сохраняя то, что существенно для

понимания причинно-следственных или иных связей. Система, выраженная в символах, это идеализированный оригинал. Но символическое описание всегда упрощено, и потому ряд свойств оригинала в таком описании утрачивается. Вряд ли мы преувеличиваем, утверждая, что прогресс физических наук заключается именно в замене реалистических описаний объектов и явлений построением формальных, абстрактных символических систем. По-видимому, скоро откроется возможность подойти к описанию работы мозга тем же способом, оказавшимся столь плодотворным для физических наук.

Если рассматривать мозг как устройство, предназначенное для выполнения определенных функций, то как бы сложно ни было это устройство и сколь бы незначительными ни казались наши сведения о нем, становится возможной обоснованная классификация направлений научного исследования мозга, построенная на тех же принципах описания и объяснения, которые применяются в отношении инженерных систем. Эта классификация будет выглядеть примерно так:

	Биология	Физика
1.	Анатомия и гистология.	Механическое описание, использующее понятие формы.
2.	Физиология.	Функциональные связи компонентов (например, электронные схемы) и физические принципы работы компонентов.
3.	Психология.	Логика переработки информации.

Разные разделы классификации содержат весьма различающиеся описания одной и той же системы. Очень важно понять, что совершить переход от описания, относящегося к одному разделу, к описанию, соответствующему другому разделу, чрезвычайно

трудно. На этом пути возможны грубые ошибки. Не только факты, но и логика каждого раздела — совершенно обособленная область. Можно даже сказать, что разрыв между понятиями «сознание» и «переработка информации» имеет тот же порядок, что и разрыв между названными категориями описаний систем. Просто мы привыкли к фразам вроде «Мозг — орган сознания».

Символика электрических цепей, организованная в рамках схем, отражает самые существенные свойства компонентов цепей и связи между компонентами. Эта символика выросла в особый язык, позволяющий отобразить принципы и способы устройства электронных систем. Это в самом деле новый иероглифический язык современности. И нам необходим сходный язык для отображения функций мозга.

## Логика

Философы делят логическую аргументацию на два больших и существенно различающихся класса: аргументы *индуктивной* и *дедуктивной* структуры.

Заманчивой кажется нам мысль о соответствующем делении рассматриваемой проблемы: объект-гипотезы формируются путем логической *индукции*, а организация языковой символики отражает логическую *дедукцию*. Дело в том, что различие между индукцией и дедукцией является чрезвычайно существенным для дальнейшего изучения связей между восприятием и мышлением.

Философ Р. Б. Брейтуэйт определил индукцию как «вывод эмпирического обобщения, сделанный на основе отдельных фактов, или построение научной гипотезы на основе опытных фактов». Индуктивные выводы суть обобщения отдельных фактов. Известен, например, следующий классический пример предсказания, основанного на индукции: «Все до сих пор наблюдавшиеся лебеди были белыми; значит, лебедь, который появится вслед за ними, также будет белым». Обобщенное предсказание того же индуктивного типа может иметь и такую форму: «Все до сих пор наблюдавшиеся лебеди были белыми; значит, *все* лебеди, которых кто-либо когда-либо увидит, будут белыми». Этот пример был выбран Аристотелем. Пример оказался чрезвычайно поучительным, ибо две

тысячи лет спустя было доказано, что обобщенное предсказание ошибочно — в Австралии обнаружили черных лебедей.

Если бы аргументация была построена по принципу дедукции, вывод никогда не был бы опровергнут. Следовало взять «белый» в качестве определяющей характеристики «лебедя»; тогда появление черных австралийских птиц, похожих во всем, кроме окраски, на лебедей, ничуть не повлияло бы на сделанный ранее вывод, потому что этих птиц нельзя включить в тот же класс объектов — «лебеди». Новое наблюдение, новый факт может опрокинуть вывод, сделанный путем индукции, но не путем дедукции.

Если в основу дедуктивного построения положены верные посылки, вывод *непрерывно* будет верным. Возьмем пример из арифметики. Пусть в столовой стоит восемь стульев и еще два стула — в кухне, тогда всего будет десять стульев. Если посылка неверна, то и вывод будет фактически неверным, но сама дедукция все же верна, поскольку ее построение правильно. Дедуктивные заключения не опровергаются фактами; последние могут показать лишь, что посылки для дедуктивных построений были выбраны неверно. Маловероятный или даже совсем невероятный вывод заставляет нас более внимательно изучить посылки; очень может быть, что в результате такого изучения будут исправлены исходные положения и сделан фактически верный вывод. Чтобы определить, является данное рассуждение индуктивным или дедуктивным, следует рассмотреть посылки, на которых оно построено, связав посылку с заключением, противоположным первоначальному. Если рассуждение построено на дедукции, то противоположное заключение окажется логически несовместимым с посылками. Если же оно построено на индукции, то новое сочетание не будет логически невозможным, хотя не исключено, что оно покажется весьма маловероятным. Так, в случае, когда птицу нельзя назвать лебедем, если птица не белой окраски, заявление «Я видел небелого лебедя» — абсурд. И поскольку такое утверждение *логически* невозможно, сразу становится ясно, что заключение, которому оно противоречит, было построено на дедукции. Это ясно потому, что мы приняли «белый» в качестве определяющей характеристики «лебедя». Не сделай мы такого ограничения — и заявление «Я видел небелого (черного) лебедя» не окажется абсурдом, хотя

и будет воспринято как крайне маловероятное (именно так оно и воспринималось, пока из Австралии не завезли в Европу черных лебедей).

В этом смысле уверенность не имеет никакого отношения к наблюдениям. Уверенность дается не восприятием. Никакое отдельное наблюдение не гарантировано от ошибки и никакое обобщение, основанное на любом числе наблюдений, не может дать *логически* безупречной уверенности.

В самой природе дедуктивных утверждений содержится нечто в высшей степени странное. Дедукция оперирует формальным символическим алфавитом. Мы вправе сказать, что дедукция небиологична, поскольку ее не могло быть до появления формального языка. В связи с этим чрезвычайно заманчива мысль об *индуктивной* природе процесса решения проблем, который сопровождает работу воспринимающего мозга, и о переходе к *дедукции* в работе мозга, занятого абстрактным мышлением, передачей сообщений, выполнением расчетов. Если это верно, то дедукция окажется свойственной только мозгу человека, поскольку лишь человек обладает формальной речью. Но это можно отнести также и к электронным вычислительным машинам, работа которых подчинена правилам некоторого формального языка. Ничего невероятного не случится, если вычислительная машина разработает свой собственный формальный язык без помощи человека. В этом случае мы сможем сказать, что машина следовала собственной дедуктивной логике (или что она сломала такую логику).

По-видимому, можно утверждать, что — поскольку в отличие от владения формальной речью восприятие не является исключительной привилегией человека — *перцептивные процессы в своей сущности не дедуктивны*. Остается принять, что они *индуктивны*.

Теперь легче примириться с тем, что наше восприятие содержит парадоксы: ясно, что перцептивная система не контролирует своих заключений с помощью дедукции.

Мы рассматриваем восприятие как процесс построения и проверки различных гипотез. Построение гипотез является также средством и целью развития науки. Но логическая структура научных и перцептивных гипотез, по-видимому, различна. Научные гипотезы по существу дедуктивны, перцептивные гипотезы индуктивны.

Именно аппарат дедуктивного мышления (развившийся от картин к символам, а затем к структуре формального языка) и дал человеку ту необычайную силу, которая позволила ему уйти из разряда биологических объектов.

## Работа мозга

Мозг извлекает из окружающего нас мира смысл, предсказывая события. Мы вряд ли ошибемся, сравнив мозг с вычислительной машиной. Похож ли он в чем-нибудь на машины, сделанные человеком? Если да, то на какую именно? Электронные вычислительные машины делятся на два класса: аналоговые и цифровые (впрочем, иногда машина представляет собою нечто среднее между этими двумя типами, ее так и называют «гибрид-машина»). Так вот, если мы будем рассматривать мозг как своего рода вычислительную машину, стоит спросить: какая она — «аналоговая» или «цифровая»?

Прежде чем приступить к поискам ответа, постараемся поточнее представить себе различие между двумя названными типами ЭВМ. Любопытно, что инженеры-электронщики, по-видимому, уделяют гораздо меньше внимания уточнению этих различий, чем, скажем, философы, занятые разграничением индукции и дедукции. Различие между машинами обычно определяется на языке конструкторов; однако мне кажется, что за терминами этого языка скрывается нечто, гораздо более принципиальное и важное для нас, и потому стоит как можно точнее выяснить суть этих терминов.

Иногда говорят: «Аналоговые машины работают в непрерывном режиме, а цифровые — дискретно» (отдельными шагами). Это — различие инженерного типа. Совершенно ясно, что такое различие нельзя принять в качестве *определяющего*. Возьмем, к примеру, логарифмическую линейку, представляющую собой подобие аналоговой машины. Движок линейки скользит вдоль набора параллельных шкал; ответ прочитывается на связке двух шкал, заданной определенным положением риски движка. Перемещения движка плавные; его риску можно поместить против любого места одной шкалы и прочесть ответ на другой. Но предположим, что мы

делаем ряд пружинных «защелок» и выделяем таким образом некоторые «привилегированные» величины для каких-то специальных целей. Что же мы получили теперь? Цифровую машину? Это звучит в высшей степени нелепо. Обратим внимание на длину шагов на шкалах линейки (или любой другой вычислительной машины). Никакой механизм не работает совершенно гладко, тем не менее ясно, что малые нарушения ритма работы вряд ли превратят «аналоговую» систему в «цифровую». Дело состоит, конечно же, в том, что шаги цифровых машин соответствуют чему-то вполне определенному. *Они соответствуют логическим операциям.*

Слово «калькулировать» (подсчитывать) произошло от латинского слова «calculus» (камешек), которым обозначали выполнение математических операций при помощи перемещений бобов или камешков в соответствии с определенными правилами. Каждый «ход» в такой «игре» соответствовал некоторой математической или логической операции. Возможно, цифровые устройства работают шагами потому, что столь же дискретно работают и символические языки. Зато аналоговые системы могут отображать функции непосредственно, минуя стадии анализа и формализации; для получения ответов не нужна «ступенчатая» калькуляция, поэтому аналоговые системы могут быть непрерывными.

Аналоговые устройства работают очень быстро, поскольку ответ достигается прямым путем. Точность их невелика, но и грубые ошибки они совершают очень редко. Цифровые же машины могут работать с любой наперед заданной точностью, но результата они достигают медленно, если сравнить эту скорость со скоростью выполнения промежуточных операций, и, кроме того, результат может содержать значительную ошибку. Что важнее всего — цифровые машины нуждаются в аналитических схемах (своего рода «калькулюсах») и в наборах формальных правил работы, то есть в алгоритмах. Но цифровую машину можно ведь запрограммировать и на аналоговый режим работы. Поэтому разница между обоими типами машин состоит главным образом не в конструктивных, а в *логических* категориях. Практически существуют некоторые конструктивные особенности, отличающие машины, предназначенные для работы в цифровом либо в аналоговом режимах, но эти

различия, по существу, отражают только некоторые преимущества инженерных решений для машин разного назначения.

Возвращаясь к нашему вопросу о мозге — аналоговая это машина или цифровая, — будем искать ответ, ориентируясь не на видимое устройство мозга, а на принципы его работы. Важно выяснить, придерживается ли мозг формальных правил в поисках верных решений.

Мы знаем, что соблюдение формальных правил требует применения формального языка, но мы также знаем, что к восприятию способны и животные, которые в отличие от человека не пользуются формальной речью. Это заставляет нас принять, что мозг — биологическая аналоговая система. Но с развитием или, если угодно, с изобретением языка биологическая аналоговая машина — мозг человека — обрела способность к работе в режиме цифровой машины. Это столь замечательное следствие, что мы едва ли можем по-настоящему оценить его.

По-видимому, символы, которые были вначале только изображениями знакомых вещей и ситуаций, приобрели постепенно более абстрактный характер и стали использоваться по правилам, отражающим формальную структуру языка и логики. Символы помогли «аналоговой машине» -- мозгу -- находить мимолетные стабильные состояния, необходимые для отображения шагов дедуктивной цепи рассуждений и расчетов. Слова стали камешками внутренних «счетов» мозга, они дали мозгу человека неизвестную ему ранее силу — дедуктивное мышление.

Все это можно высказать немного иначе и нагляднее. Используем для этого понятие *ограничений*. *Ограничения могут быть физическими и символическими.* Например, перемещения пешек и фигур в такой игре, как шахматы, связаны символическими ограничениями. Все машины до изобретения цифровых вычислительных машин работали в рамках физических ограничений, налагаемых изнутри рычагами, трансмиссиями, колесами и т.д. Искусство инженера-механика в том и состоит, чтобы создать определенные и точные ограничения, избежав в то же время помех, возникающих при слишком тесном контакте деталей. В этом деле впереди всех в течение нескольких столетий шли часовщики. Первые вычислительные машины состояли в сущности из набора шестеренок

и были построены наподобие часового механизма; отличие состояло лишь в том, что эти машины можно было по-разному настраивать в соответствии с определенной задачей и они давали решение, механически имитируя символические ограничения, налагаемые задачей. Машина решала задачу, следуя тем физическим ограничениям движения собственных частей, которые ввел создатель машины. Но ведь ограничения, задаваемые машине при решении каждой отдельной задачи, определялись не просто целью ограничить движения каких-то частей машины, а логикой проблемы и формулировкой задачи. Программисты электронных вычислительных машин употребляют термины «посуда» и «начинка». «Посуда» — это сама машина; она работает в согласии с теми физическими ограничениями, которые созданы инженерами. «Начинка» — это символическая формулировка проблемы и порядок операций, необходимый для решения задачи. Машина следует этому порядку; символические ограничения, налагаемые «начинкой», реализуются благодаря физическим ограничениям машины (например, узлы машины могут работать по принципу «все или ничего» на каждом шаге каждой операции, то есть дискретно).

Программа работы машины («начинка») составляется на специальном машинном «языке». Избираемый язык должен соответствовать конструкции машины и структуре решаемой задачи. Возможность выбора языка не всегда сильно ограничена; некоторые машинные языки узко специализированы, но есть и такие, которые одинаково хорошо применимы для решения как числовых задач, так и проблем сортировки и классификации.

Но вернемся к языку и восприятию человека. Изучая работу мозга, поставим вопрос так: какие ограничения управляют работой мысли — физические или символические? Ясно, что символические ограничения задаются не структурой мозга как таковой, а структурой языка и используемой логикой. Причем, употребляя термин «язык», мы в данном случае можем иметь в виду как обычную устную речь, так и какой-либо специальный язык, например математику или формальную логику. Некоторые ученые XIX века, например Джордж Буль, определяли логику как «законы мысли», полагая, что логика есть основное свойство работы мозга, а символы и правила науки логики лишь отображают это свойство. Другие

ученые придерживались мнения о независимости правил логики от устройства мозга, но полагали, что эти правила способны в случае необходимости управлять работой мозга подобно тому, как программа управляет работой вычислительной машины.

А что дает нам изучение структуры обычной речи? В последнее время лингвистика сильно продвинулась вперед, в частности, и благодаря работам американского филолога Ноэма Хомски. Он утверждает, что язык имеет «поверхностную» и «глубокую» структуры. Под поверхностной структурой он понимает принятые правила построения предложений. Так, фраза «Билл отправился в город на свидание с Мэри» — вполне приемлемое предложение. Если в это предложение ввести слова, не имеющие смысла, оно все же сохранит поверхностную структуру, свойственную английскому языку. Например, «Билл сохрал в жорго на рувое плаво». Что это значит — неизвестно, но нетрудно представить, себе, что это просто английская фраза в искаженном русском переводе. Английский лингвист Джеймс Торн доказал, что электронная вычислительная машина может анализировать грамматику предложений, хотя она, конечно, и не «понимает» значения слов, из которых состоят эти предложения.

Число предложений, которые могут быть составлены в рамках одного языка, бесконечно. Правила грамматики позволяют конструировать сколько угодно новых предложений, обладающих всеми необходимыми признаками правильных предложений. Посмотрим теперь, что представляет собой глубокая структура. Она предполагает наличие смысла. Воспринимая глубокую структуру предложения, мы понимаем смысл слов, из которых оно составлено. Рассмотрим для ясности предложение, смысл которого неоднозначен. При одной и той же поверхностной структуре смысл — глубокая структура — имеет несколько приемлемых вариантов. Например: «Билла волновало то, что смотрела Мэри». Это предложение можно истолковать по-разному (Билла могла волновать та вещь или, скажем, картина, которую Мэри смотрела, или тот факт, что смотрела именно Мэри). Перед нами — лингвистический эквивалент куба-перевертыша. В обоих случаях одна и та же информация «на входе» может иметь два разных значения «на выходе». Ясно, что глубокая структура предложения

есть не что иное, как материал для смысловой гипотезы; этот материал — слова и порядок их расположения-соподчинения, то есть поверхностная структура предложения. Здесь имеется очень глубокая аналогия с «извлечением» структур, соответствующих реальным объектам, из ретинальных изображений — оптических проекций этих объектов.

Хомски считает, что глубокая структура языка основана на врожденных биологических механизмах. И тут сразу же встает вопрос: достаточно ли длительной была эволюция, чтобы могли возникнуть соответствующие структуры мозга? Давность речи вряд ли больше нескольких десятков тысячелетий; это, безусловно, слишком короткий срок для того, чтобы мозг мог эволюционировать соответствующим образом. Гораздо вероятнее, что глубокая структура речи развилась каким-то образом на основе более древних структур, ответственных за формирование объект-гипотез, составляющих сущность перцепции. Возможно, что изобретение символов оказалось достаточным толчком к переходу от внутреннего процесса восприятия к направленному во внешнюю среду процессу речи — к «экстернализации» восприятия.

Объект-гипотезы, используемые в процессе абстрактного мышления и при планировании будущих действий, несомненно, выбираются и комбинируются вне связи с текущей сенсорной информацией. Выбор таких объект-гипотез не должен зависеть от настоящего, поскольку он не связан с необходимостью немедленных действий. Мышление мы можем считать «игрой», в которой фишками служат объект-гипотезы, а правила совпадают с законами глубокой структуры речи. Эти правила непременно отражают структуру нормального внешнего мира — иначе они не были бы применимы к данной «игре». И, конечно же, в тех случаях, когда мысль не ограничена рамками нормального мира объектов, мы найдем особые языки, с совсем иной глубокой структурой, — язык математики, электроники, а может быть, и язык музыковедения и искусствоведения.

Люди, выросшие и воспитанные в условиях разных культур, совсем недавно начали пользоваться существенно различными предметами и стремиться к резко различающимся целям. И только с развитием техники создалось такое положение, при

котором люди, живущие рядом, заняты совсем разными мыслями: в то время как один размышляет о странных свойствах электронных систем, другой погружен в решение проблемы магнетизма, а третий мечтает о нулевой гравитации, при которой нормальные на вид предметы обладают массой инертной, но не гравитационной. В каждой из названных ситуаций проявляется свое особое умение видеть, упорядочивать, преобразовывать объекты. По мере того как необычные и абстрактные свойства предметов все больше занимают мысли человека, мы вправе ожидать появления и развития новых языков, глубокая структура которых будет отражать мир объектов, обладающих такими свойствами; насколько нам известно, этот мир населяет лишь одно живое существо — человек. Все глубже становится трещина между нами и нашим прошлым, в течение которого формировались глаза, мозг и речь наших предков. Впервые в истории перед Разумным Глазом — непредсказуемое будущее, содержащее такие объекты и ситуации, перед которыми его объект-гипотезы бессильны. Что ж, мы должны научиться жить в мире, который создали. Опасность — в том, что человек способен создать и такой мир, который выйдет из-под ограничений, налагаемых разумом; в этом мире мы не сможем видеть.

## I Приложение 1

# Стереопроекция и рисование в трехмерном пространстве

### Теневая проекция стереоизображений

Прием теневой проекции широко использовался и ранее. Например, Д. Д. Гибсон применял теневую проекцию, получаемую с помощью маленьких источников света, для того чтобы избавиться от фактуры фона, в частности при изучении восприятия глубины по параллаксу движения. Теневой проектор стереоизображений, используемый нами для изучения стереовосприятия проволочных моделей, а также для выполнения многих других опытов, был впервые описан автором в 1964 году [55]. Полное математическое описание данного устройства приводится в статье Д. Н. Ли [84].

Следующее простое устройство позволяет проецировать в форме стереоизображений трехмерные объекты типа проволочных моделей молекулярных или кристаллических структур. Маленькие модели могут быть увеличены в трехмерной проекции в десять и более раз. Оптическая часть состоит всего лишь из пары небольших ярких источников света, разделенных расстоянием в несколько сантиметров. Перед объективом каждого проектора расположен поляроидный фильтр; оба фильтра ориентированы под углом 90 градусов друг к другу. Проекторы дают пару теневых изображений объекта, который помещается между источниками света и посеребренным экраном. При желании можно проецировать на просвет, но тогда экран должен быть изготовлен из шлифованного стекла, не деполаризующего свет. Тени, наблюдаемые сквозь «скрещенные» поляроидные очки, «сливаются» в мозгу и дают одиночный стереоскопический теневой образ, который лежит в пространстве.

Объяснение этого эффекта не составляет труда. Тени, отбрасываемые проекторами на экран, являются плоскими, слегка различающимися изображениями одного и того же объекта. Это различие соответствует диспаратности ретинальных изображений при наблюдении этого объекта из позиций, занимаемых проекторами. В мозгу наблюдателя оба диспаратных изображения сливаются в одну стереоскопическую «тень»,\*невероятно похожую на подлинный предмет, но только угольночерного цвета. Он виден в пространстве либо впереди, либо позади плоскости экрана в зависимости от того, как наблюдается изображение: когда правый глаз получает «правое» изображение, а левый -- «левое», предмет виден ближе экрана; стоит перевернуть очки, и стереоизображение оказывается дальше экрана. В очках поляроидные фильтры ориентированы под углом 45 и 135 градусов к горизонтали.

В качестве источников света подходят миниатюрные лампы (12 вольт, 100 ватт) с вольфрамовой нитью и йодным наполнением баллона. Нить лампы следует ориентировать вертикально — тогда разрешение по горизонтали максимальное, а это важно для получения максимума информации о глубине, ощущаемой благодаря действию механизма диспаратности.

Увеличение по осям  $x$  и  $y$  задается отношением расстояния от проекторов до объекта и от объекта до экрана. Увеличение по оси  $z$  регулируется расстоянием между проекторами. Практически удобно давать десятикратное увеличение, но воспринимаемый размер объекта меньше ожидаемого из-за действия механизма перцептивной константности размера.

Объект, воспринимаемый впереди экрана, обычно кажется меньше, чем в случае, когда он виден позади экрана, хотя его физический размер отнюдь не меняется при смене положения поляроидных фильтров. Сильно выражен еще один перцептивный феномен: когда наблюдатель двигает головой, ему кажется, что стереоизображение перемещается в ту же сторону, скользя вдоль экрана и даже поворачиваясь вокруг своей оси, как будто оно всегда нацелено в глаза наблюдателя. Причина эффекта заключается в том, что наблюдатель видит трехмерный «объект», но параллакс движения отсутствует. Это возможно в нормальных условиях

именно при вращении предмета — тогда он остается повернутым к наблюдателю все время одной и той же стороной.

Поэтому и в данном случае наблюдатель воспринимает движение, несмотря на то что ретинальные изображения объекта остаются неизменными. Когда наблюдатель удаляется от экрана, теневой объект не сжимается и не утрачивает трехмерности, как можно было ожидать; очевидно, уменьшение угла конвергенции глаз меняет калибровку механизма диспаратности, так что постоянная величина диспаратности соответствует большей стереоскопической глубине. Это чрезвычайно удачная особенность данного вида перцепции, так как теневой образ предмета почти не меняется в широком диапазоне расстояний до экрана, что позволяет демонстрировать его в больших залах для широкой аудитории. Лектор может трогать «объект», менять его положение в пространстве, чего не позволяют другие методики стереопроекции.

Способ полезен также для исследования восприятия глубины во время движения наблюдателя. На основе предлагаемой методики можно создавать имитаторы для экспериментального исследования самолетовождения и управления космическими летательными аппаратами.

### **Машины для рисования в трехмерном пространстве**

Стереопары, в которых- правая и левая картины разделены с помощью цвета (анаглифическим способом), можно рисовать по правилам проективной геометрии, но это кропотливая работа. Она облегчается, если пользоваться пантографом, так как его поворотное чертежное устройство обладает необходимым числом степеней свободы. И все же для каждой желаемой сепарации штрихов нужно точно устанавливать осевой шарнир пантографа; поэтому такая система эффективна только в тех случаях, когда в рисунке необходимо и достаточно задать серию планов, находящихся на разных видимых расстояниях.

Хороших книг по стереофотографии нет, как нет и пригодных для научной работы стереофотокамер для съемки на 35-миллиметровую пленку. Не изготавливаются и зеркальные стереофотоаппараты. Снимки, составляющие пару, приходится обра-

батывать отдельно — разметка утрачивает точность. Кроме того, аппарат следовало бы снабдить устройством для точной конвергенции осей объективов в соответствии с тем, как конвергируют глаза, рассматривая близкие объекты.

Первая машина для рисования в трехмерном пространстве (ее описание см. на с. 166) основана на использовании оптики и электролюминесцентных панелей. Основные трудности с оптикой возникают по двум причинам: вследствие малой глубины фокуса системы линз проектора и реверсии системы координат. Чтобы исправить реверсию, приходится ставить дополнительные зеркала — оборачивать изображения рисующего света на переднюю поверхность панелей. Конструкция значительно упростилась бы при рир-проекции, поскольку проекция изображения и рассматривание его осуществлялись бы тогда по одной оси. Если приходится проецировать спереди и рассматривать изображение в отраженном свете, то нужно либо установить большое полупрозрачное зеркало, расщепляющее световой поток, либо (как у нас) сделать так, чтобы оси проекций и обзора были направлены не под прямым углом к экрану. Такая проекция вносит искажения, которые компенсируются рассматриванием под тем же самым углом, только по другую сторону нормали к экрану.

Абсолютно необходимо добиться соответствия между пространственными координатами рисующего света и видимыми координатами стереоизображения, которое возникает после слияния пары реальных изображений, хранящихся на поверхности люминесцентных панелей. В нашем устройстве перемещения рисующего света вдоль осей  $x$  и  $y$  перевернуты; обратное перевертывание достигается соответствующим устройством окуляров (четырёхкратное увеличение последних как раз достаточно для разрешения зерна панелей). Чтобы изображение перевернуть обратно и по оси  $z$  (в глубину), применяется большое плоское зеркало, лежащее в оптическом пространстве между источниками света и объективами проекторов; такое устройство необходимо потому, что проекция ведется спереди — изображение приближается к панели, когда оно должно отдаляться от нее. Плоское зеркало удлинит путь света к панели, когда свет отодвигается от наблюдателя, как это было бы при проекции на обратную сторону панели. Но если бы свет в са-

мом деле шел сзади, сквозь панель к линзам окуляров, не было бы перевертывания по оси г.

Конечно, данная оптическая система не единственно возможная. Увеличить полезную площадь панелей легко, добавив отклоняющие призмы или применив уитстоновские стереоскопические зеркала. Но тогда возникают новые трудности, поскольку для увеличения полезной (несущей изображение) площади панелей требуются более длиннофокусные объективы, а это уменьшает диапазон возможных движений рисующего света в глубину. Наше устройство было разработано в основном эмпирически. Мы стремились к тому, чтобы машина была простой, состояла только из стандартных деталей и давала картины, пригодные, по крайней мере на первых порах, для того, чтобы инженеры, архитекторы и другие специалисты, заинтересованные в этом, могли начать работу с ней, стремясь лучше понять и отобразить сложные структуры.

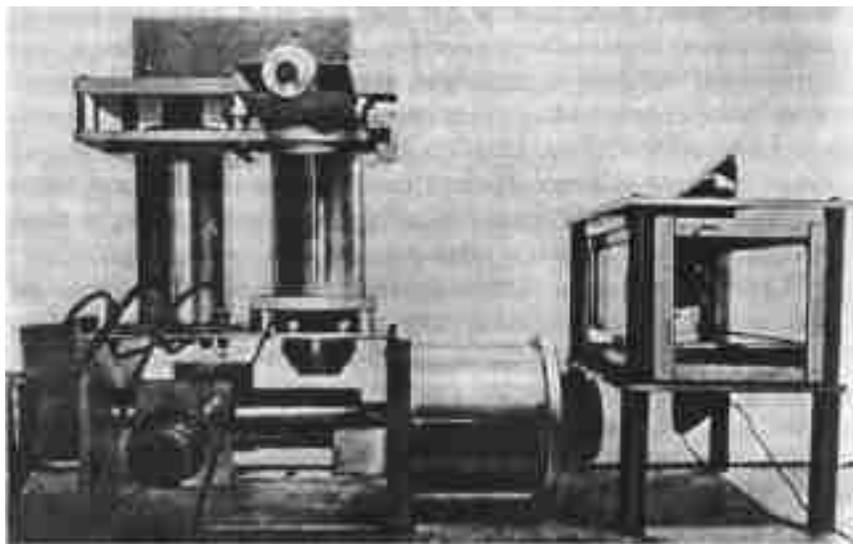
## Инструмент для усовершенствования изображений

Центральное положение этой книги состоит в том, что сенсорная информация используется для построения в нашем сознании символических моделей окружающего мира. Эти модели мы обычно называем «объект-гипотезами», или — более общо — «перцептивными гипотезами», предполагая, что они обладают предсказательным свойством. Если слово «модель» наводит на мысль о существовании в мозгу некоего физического конкретного объекта, то это неверно. Модели существуют в мозге лишь в виде структур, символизирующих объекты.

В этой связи очень интересен следующий вопрос: можем ли мы создать машины, которые будут строить «внутри себя» «модели» или «гипотезы» подобно тому, как это (предположительно) делает мозг? Устройство, описание которого следует ниже, в принципе несложно (рис. 121). Ни цифровая вычислительная машина, ни какая-либо программа в обычном смысле слова не управляют им. Эта «машина» строит «внутри себя» грубую модель — несовершенную фотографию, а затем использует ее для того, чтобы пропустить или отклонить притекающую информацию на основе «оценки» степени согласованности новой информации с «моделью». Назначение устройства весьма прагматично: свести к минимуму помехи, вызванные турбулентностью атмосферы; такие помехи препятствуют получению четких фотографий астрономических объектов, снимаемых с поверхности Земли. Первое описание прибора было дано в 1964 году в журна-

ле Nature. Позднее мы построили фотокамеру по этому проекту и опробовали ее на двух больших телескопах в США. Теперь мы заняты тем, что конструируем устройство, позволяющее компенсировать ошибки слежения, неизбежно возникающие из-за длительной экспозиции, необходимой для получения четких снимков по нашему способу.

Формирующаяся в приборе «внутренняя модель» представляет собой фотографию, полученную именно при длительной экспозиции; она будет, конечно, очень нечеткой из-за большого числа атмосферных помех, но зато все ее детали будут находиться в правильном пространственном соотношении. Такая примитивная «модель» содержит статистически верное распределение деталей по площади снимка, но «усредненного» распре-



**Рис. 121.** Помехоустойчивая фотокамера (слева) связана с беспорядочно колеблющейся водяной баней (справа), сквозь которую проходит свет от фотографируемого объекта (последний находится справа от рисунка и здесь не показан) к объективу. Кожух аппарата удален, чтобы были видны некоторые части этой фотокамеры. В левой вертикальной трубе спрятан фотоумножитель; в крыше правой трубы находится кассета эталонного негатива. Электромеханический двигатель высокоскоростного обтюратора находится в корпусе камеры

$$/ \cdot \sqrt{f}.$$

$$/, - \Lambda$$

**Рис. 122**

деления деталей недостаточно - нужно иметь ясно видимую, подробную оптическую информацию, которая утеряна вследствие большого числа случайных помех. Снимок, сделанный на стеклянной пластинке, удаляют из аппарата, проявляют и получают таким образом прозрачное негативное изображение. Телескоп между тем продолжает следить за объектом — Луной или другим фотографируемым телом. Затем фотопластинку с изображением, которое отныне называется «эталонный негатив», снова ставят в аппарат, точно в то же положение, в каком было получено первое изображение.

Теперь новое изображение объекта падает на пластинку с эталонным негативом; на каждую темную часть негатива приходится светлая часть нового изображения объекта и наоборот. Глядя на новое изображение сквозь негатив прежнего, мы видим, что в те моменты, когда оба изображения точно совпадают, негатив полностью закрывает новое изображение, так что свет почти не проходит к наблюдателю. Любое расхождение обнаруживается просто: виден свет в том месте, где

часть нового изображения накладывается на прозрачную часть эталонного негатива. Математически такое соотношение описывается автокорреляционной функцией. Как только изображение меняется (в данном случае в результате атмосферных помех), точное совпадение его частей с теми же частями на эталоне нарушается.

Ошибки обнаруживаются путем улавливания света, проходящего через эталонный негатив. Дело в том, что на эталонном негативе запечатлен не какой-либо случайно выбранный момент, а «среднее» изображение при помехах в атмосфере. Улавливая свет, проходящий сквозь эталонный негатив, и усиливая его с помощью чувствительного фотоумножителя, мы превращаем все мимолетные погрешности нового изображения в сигналы ошибок. Чем слабее ток, идущий от фотоумножителя, тем меньше ошибка, то есть расхождение между новым и *усредненным* изображениями; последнее правильно, оно грешит лишь нечеткостью: детали утрачены в результате турбулентности атмосферы. Сигнал об ошибке мы используем для управления высокоскоростным обтюратором второго фотоаппарата, который получает флукутирующее изображение (с помощью полупосеребренного зеркала, рассекающего световой пучок). Обтюратор открывается только в те мгновения, когда ток, текущий от фотоумножителя, слабее всего; именно в эти мгновения новое изображение больше всего совпадает с эталоном. Вторая фотография всегда лучше первой (да и любой другой фотографии, полученной обычными способами), поскольку эта вторая фотография образуется только в те моменты, когда изображение обладает максимальной четкостью.

На рис. 122 показано изображение с помехами, прошедшее сквозь собственный фотонегатив (полученный при длительной экспозиции). Наименьшие помехи видны в правой части снимка: изображение и негатив взаимно совпадают, гася друг друга, - образуется чернота. Светлые полосы в левой части снимка указывают на несовпадение изображения с негативом; в результате возникает сигнал об ошибке — и обтюратор закрывает канал камеры. Канал остается закрытым до тех пор, пока эталонный негатив



**Рис. 123.** Изображение, снятое сквозь беспорядочно колеблющуюся водяную баню. Из-за отсутствия электронной стабилизации утрачены почти все детали изображения

**Рис. 124.** Тот же объект снят сквозь *точно ту же* колеблющуюся водяную баню, но при включенной электронной стабилизации; камера «видит» объект только в те мгновения, когда помехи минимальны. Полное время съемки при экспозиции 10 минут составляет 2 секунды; они складываются из автоматически выбранных моментов, соответствующих наибольшей четкости изображения. Эталонный негатив здесь — негативное изображение снимка, показанного на рис. 123. Таким образом, аппарату не дают никакой информации, кроме той, которую он извлекает сам



не покроем точно все новое изображение; тогда производится следующая экспозиция.

На рис. 123 видна сильно размытая картина модели объекта. Следующее фото (рис. 124) позволяет увидеть улучшение, вызванное применением системы, регулирующей съемку; оба снимка сделаны через один и тот же источник помех.

## I Указания к выполнению некоторых из описанных в этой Е книге экспериментов

### Объемные (стереоскопические) рисунки

Чтобы увидеть рисунки объемными, читателю следует воспользоваться красно-зелеными очками<sup>^</sup>. Глядя сквозь красное стекло, наблюдатель видит (левым глазом) только зеленую часть рисунка; глядя сквозь зеленое стекло (правым глазом) — только красную часть рисунка; вместе обе части рисунка составляют стереопару.

Перевернув очки — правый глаз видит то, что «предназначено» для левого глаза, и наоборот, — наблюдатель обнаружит новые интересные факты; например, изменится форма некоторых фигур (как следствие изменения кажущейся удаленности разных частей рисунка). В этом проявляются особенности работы «измеряющего механизма» мозга.

Дополнительные интересные эффекты наблюдатель обнаружит, наблюдая, как меняются стереокартины при движении головы, при изменении наклона книги и т. п. Общая форма стереокартин при этом меняется весьма странным образом, но картина будет все время «нацелена» в глаза наблюдателю.

<sup>^</sup> На с. 233 дан чертеж очков. Читатель, вооружившись ножницами, клеем и двумя кусочками цветной пленки, без большого труда изготовит нужные очки. Прозрачную цветную пленку достать нетрудно. Проверить ее пригодность надо так: сквозь зеленую пленку не видны линии зеленого цвета, а красная пленка «гасит» линии красного цвета. — *Прим. перев.*

Так как цветные очки позволяют дать каждому глазу обособленную часть рисунка, их можно использовать и для того, чтобы продемонстрировать читателю эффект соперничества глаз (см. рис. 67) и эффект разделения элементов рисунка, дающих при слиянии иллюзию искажения (см. рис.68).

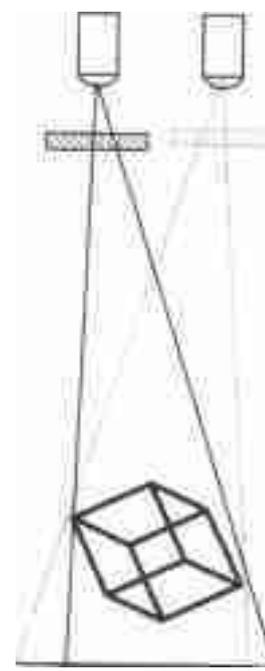
### Изготовление предмета-перевертыша

Одна из главных тем этой книги — различие между восприятием реальных объектов и плоских изображений. В качестве иллюстраций используются каркасный куб и плоские изображения этого куба. Но именно потому, что восприятие объекта и восприятие рисунка различаются коренным образом, невозможно продемонстрировать первое при помощи второго. Поэтому будет очень хорошо, если читатель самостоятельно изготовит каркасный куб из проволоки, или из склеенных между собой спичек, или — еще лучше — из «соломинок» для коктейлей. В идеале куб следует покрыть черной матовой краской, но это условие не существенно. Реальный куб, вывертывающийся наизнанку, выглядит столь интересно, что потраченные на его изготовление усилия окупятся с лихвой.

Спиральный диск (с. 235) следует вырезать и поместить на диск проигрывателя грампластинок; вращать его следует с постоянной скоростью. Полученный при наблюдении вращающегося диска эффект последствия движения наблюдается после фиксации взора на центре диска в течение примерно полминуты.

Диск Бэнхема (с. 237) при вращении «наводит» цвет: наблюдатель воспринимает его черно-белую поверхность как расцвеченный круг. Я рассчитал рисунок на диске таким образом, чтобы эффект достигался при малых скоростях вращения диска проигрывателя; для этого достаточно вращать его рукой. Можно также поэкспериментировать с освещением, проверяя его влияние на состав и насыщенность цвета, возникающего из черно-белой фигуры.

T



Свет

Цветные или поляроидные фильтры

Объект

Экран



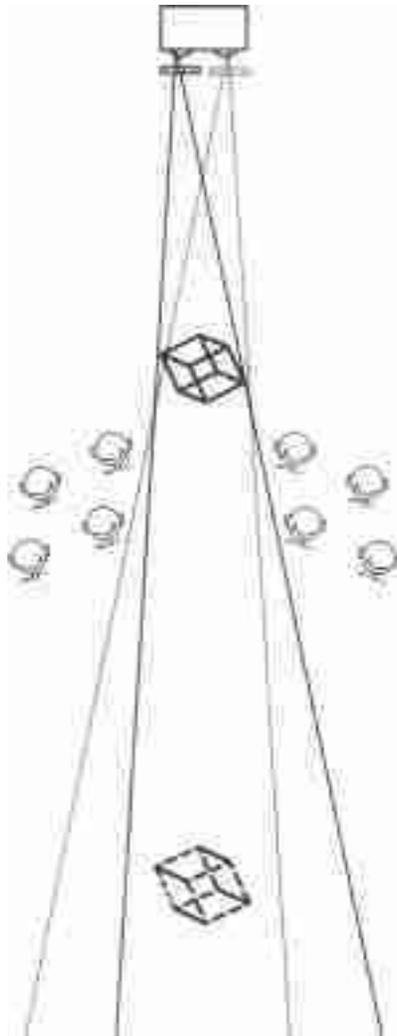
Видимое изображение



Цветные очки

Глаза

Рис. 25. Прием двойной проекции

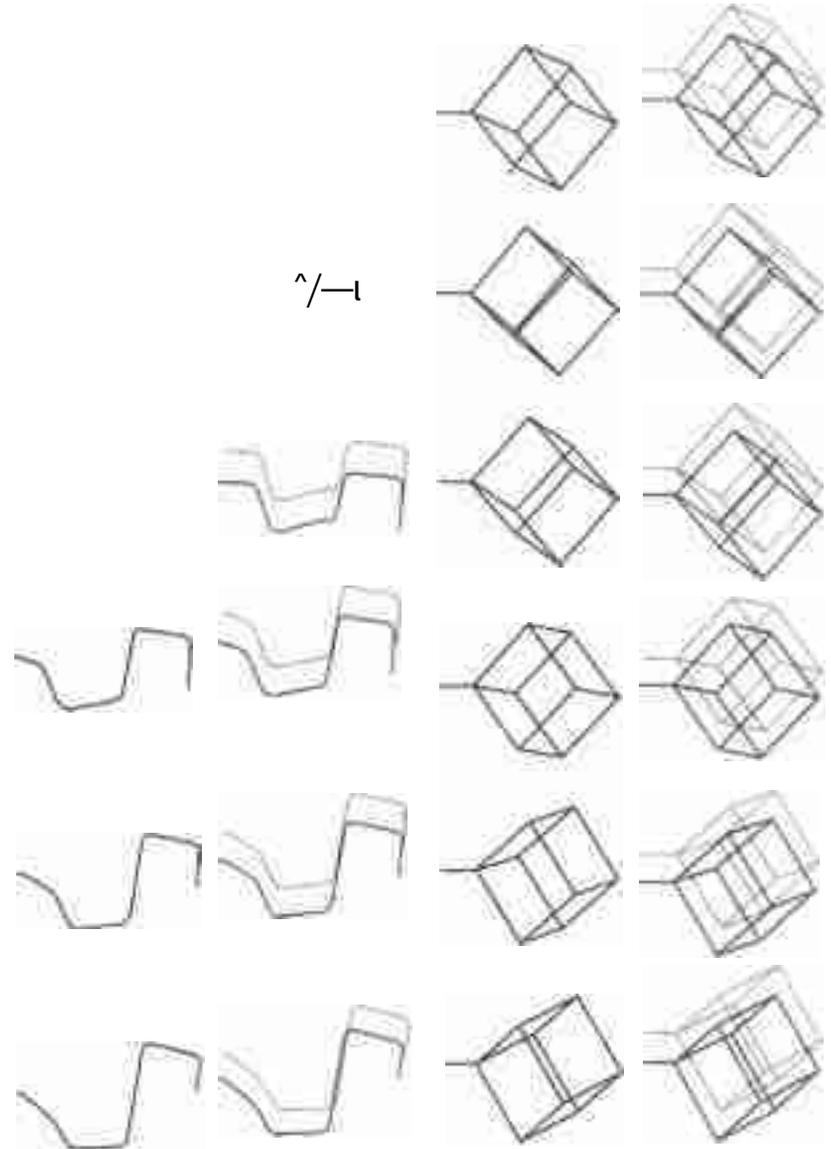


Свет  
Цветные или  
поляроидные  
фильтры

Объект

Зрители,  
надевшие  
цветные очки

Видимое  
изображение



$\sim 180^\circ$

**Рис. 26.** Этот прием можно использовать для показа увеличенных стереопрооекций большой аудитории. Наблюдение ведется не в проходящем, а в отраженном от экрана свете. (Экран должен быть изготовлен из посеребренной или алюминизированной ткани, если употребляется поляризованный свет; в противном случае отраженный свет будет деполаризован и эффекта не получится.)

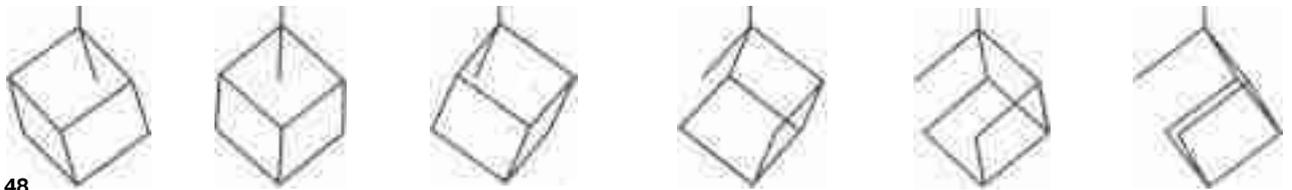


Рис. 48

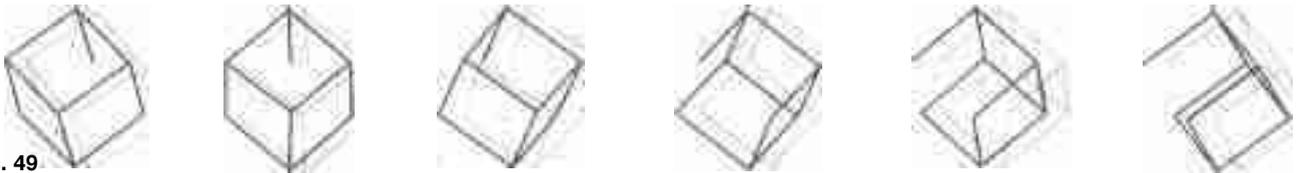


Рис. 49

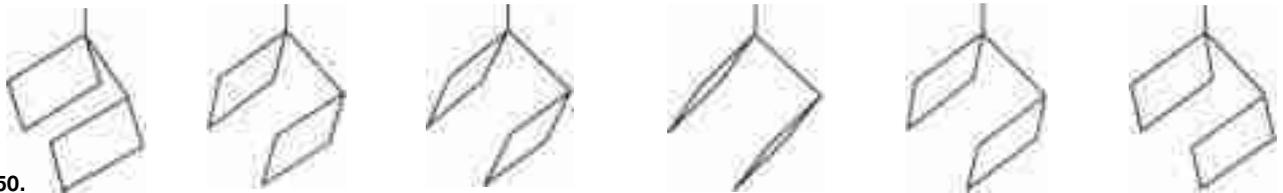


Рис. 50.



Рис. 51.



Рис. 52.



Рис. 53.



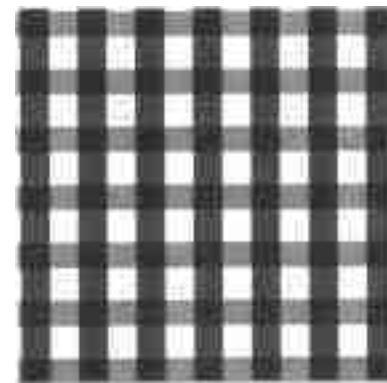
Рис. 54.



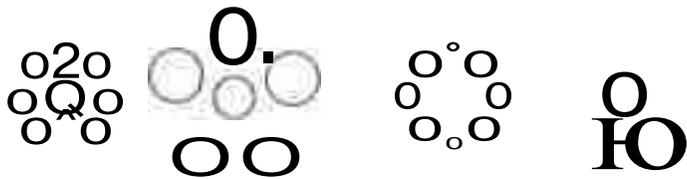
Рис. 55.



**Рис. 60.** После длительной фиксации взгляда на красной птице можно увидеть ее в клетке, переведя взор в центр последней, при этом цвет птицы, как правило, меняется на зеленый. Если читатель воспользуется цветными очками, он может провести ряд интересных наблюдений над этим феноменом. Так, посмотрев сквозь очки на лампочку, а затем переведя взгляд на белую или цветную поверхность, можно наблюдать зависимость цвета послеобразов от цвета фона и т.п., причем размеры послеобраза тем *больше*, чем *дальше* находится поверхность, на фоне которой вы его рассматриваете. Размер возрастает почти вдвое каждый раз, когда удваивается расстояние. Этот закон<sup>1</sup> выведен Эммертом



**Рис. 67.** Соперничество полей зрения возникает, если наблюдать этот узор сквозь цветные очки; тогда один глаз увидит красные, а другой — зеленые линии. Мозг не в состоянии все время воспринимать такие сигналы в комбинации, поэтому мы видим странный узор — непостоянный, колеблющийся



## Литература

1. *Adrian Lord*. The Physical Background of Perception (Waynflete Lectures, 1946), London, 1947.
2. *Adrian Lord*. The Basis of Sensation: The Action of the Sense Organs, London, 1949.
3. *Arnheim R.* Gestalt and Art, Journ. of Aesthetics and Art Criticism, 2, 71-5 (1943). См. также: *Hogg J.* (ed.), Psychology of the Visual Arts, Harmondsworth, 1969.
4. *Arnheim R.* Art and Visual Perception, Berkeley, 1954. (Рус. пер.: *Арнхейм Р.* Искусство и визуальное восприятие. М., 1974.)
5. *Attneave F.* Some informational aspects of visual perception, Psych. Rev., **61**, 183-198 (1954).
6. *Babbage C.* On a method of expressing by signs the action of machinery, Phil. Trans. Roy. Soc. (1826).
7. *Baker H. S.* Furniture in the Ancient World, London, 1966.
8. *Bartlett F. C.* Remembering, Cambridge, 1932.
9. *Beardslee D. C., Wertheimer M.* Readings in Perception, Princeton, 1958.
10. *Benham C. E.* The artificial spectrum top, Nat. Lond., **51**, 200 (1894).
11. *Berkeley G.* A New Theory of Vision (1709).
12. *Boring E. G.* Sensation and Perception in the History of Experimental Psychology, New York, 1942.
13. *Braithwaite R. B.* Scientific Explanation, London, 1949.
14. *Brindley G. S.* Physiology of the Retina and the Visual Pathway, Monogr. of Physiol. Soc., 6, London, 1960.
15. *Broadbent D. E.* Perception and Communication, Oxford, 1958.
16. *Brown J.L.* Afterimages, in *Graham C.H.*, Vision and Visual Perception, New York, 479-503, 1965.
17. *Brown J.L.* Flicker and visual perception, in *Graham C.H.*, Vision and Visual Perception, New York, 1965.
18. *Egunem S.J.* On perceptual readiness, Psych. Rev., **64**, 123-152 (1957). (Рус. пер.: *Брунер Дж.* О перцептивной готовности // Хрестоматия по «ощущению и восприятию». М., 1975.)
19. *Bmner S.J.* Studies in Cognitive Growth, New York, 1966.



4



**Рис. 68.** Наблюдая эти рисунки через цветные очки, мы даем одному глазу одни, а другому — другие части фигуры; порознь они не искажены. Глядя обоими глазами, мы видим фигуру, содержащую иллюзию искажения; таким образом, источник искажений находится в мозгу, а не в сетчатке

20. *Bntnswik E.* Die Zugänglichkeit von Gegenständen für Wahrnehmungen und deren onentative Bestimmung, *Arch. Ges. Psychol.*, 88, 377-419 (1933).
21. *Brunswik E.* Distal focusing of perception; size constancy in a representative sample of situations, *Psych. Monogr.*, 56, 254 (1944).
22. *Budge E. A. Wallis.* The Egyptian Book of the Dead, 1967. (Рус. пер.: *Бадж Уоллис Е. А.* Египетская книга мертвых. М., 1995.)
23. *Cherry C.* On Human Communication, New York, 1966. (Рус. пер.: *Черри К.* Человек и информация. М., 1972.)
24. *Chomsky N.* Syntactic Structures, The Hague, 1957. (Рус. пер.: *Хомский Н.* Синтаксические структуры // Новое в лингвистике. Вып. 2. М., 1962.)
25. *Chomsky N.* The formal nature of language, in *Lenneberg E. H.* The Biological Foundations of Language, New York, 1967.
26. *Cohen J. C., Gordon D. A.* The Prevost-Fechner-Benham subjective colours, *Psych. Bull.*, 46, 2, 97-136 (1949).
27. *Constable W.G.* Canaletto, London, 1962.
28. *Craik K.J. W.* The Nature of Explanation, London, 1943.
29. *Декарт Р.* Избранные произведения. М.: Госполитиздат, 1950.
30. *Декарт Р.* Диоптрика // Рассуждение о методе. М.: Изд-во АН СССР, 1953.
31. *Desroches-Noblecourt C.* Tutankhamen, London, 1963.
32. *Diringer D.* Writing, London, 1962.
33. *Diringer D.* The Alphabet: a Key to the History of Mankind, London, 1968.
34. *Dudley L. P.* Stereoptics, London, 1951.
35. *Duke-Elder W.S.* System of Ophthalmology, 1, London, 1958.
36. *Eisler K.* Gestaltkonstanz der Sehdinge bei Variation der Objekte und ihre Einwirkungsweise auf den Wahrnehmenden, *Arch. Ges. Psychol.*, 88, 487-551 (1933).
37. *Ellis W. H.* (ed.), Source Book of Gestalt Psychology, London—New York, 1938.
38. *Ellis B.* Basic Concepts of Measurement, London, 1958.
39. *Evans C.* Some studies of pattern recognition using a stabilised image, *Brit. Journ. Psychol.*, 56, 121-133 (1965).
40. *Evans C.* Further study of pattern perception and stabilised retinal images: the use of prolonged after images to achieve perfect stabilisation, *Brit. Journ. Psychol.*, 58, 315-327 (1967).
41. *Feigenbaum E. A., Feldman J.* Computers and Thought, London, 1963.

42. *Fodor J.A., Katz J.* The Structure of Language, Englewood Cliffs, 1964.
43. *Gardiner A.* Egyptian Grammar, Oxford, 1957.
44. *Geschwind N.* The Development of the Brain and the Evolution of Language, Monogr. Series on Language and Linguistics № 17, Report on the 15th Annual R. T. M. on Linguistic and Language Studies, 1964.
45. *Gibson J. J.* The Perception of the Visual World, London—New York, 1950. (Рус. пер.: *Гибсон Дж.* Восприятие как функция стимуляции // Хрестоматия по «ощущению и восприятию». М., 1975.)
46. *Gibson J. J.* The Senses Considered as Perceptual Systems, New York, 1966.
47. *Gombrich E.H.* Art and Illusion, London, 1960.
48. *Gombrich E.H.* Visual discovery through art, *Arts Magazine* (1965). См. также: *Hogg J.* (ed.), Psychology and the Visual Arts, Harmondsworth, 1969.
49. *Graham C. H.* Vision and Visual Perception, New York, 1965.
50. *Gregory R. L.* A technique for minimizing the effects of atmospheric disturbance on photographic telescopes, *Nature*, London, 203, 4942, 274-275 (1964).
51. *Gregory R. L., Wallace J. (J.), Campbell F. W.* Changes in size of visual after-images during changes of position in space, *Quart. Journ. Exp. Psychol.*, 11, 1, 54-55 (1959).
52. *Gregory R. L., Anis S. M., Shopland C. D.* Measuring visual constancy for stationary or moving objects, *Nature*, London, 193, 4815, 605-606 (1961).
53. *Gregory R. L.* Distortion of visual space as inappropriate constancy scaling, *Nature*, London, 119, 678 (1963).
54. *Gregory R. L., Shopland C. D.* The effect of touch on a visually ambiguous three-dimensional figure, *Quart. Journ. Exp. Psychol.*, 16, 1 (1964).
55. *Gregory R.L.* Stereoscopic Shadow-images, *Nature*, 203, 1407-1408 (1964).
56. *Gregory R. L.* Will seeing machines have illusions? *Machine Intelligence*, 1, Edinburgh—London, 1967.
57. *Gregory R. L.* Seeing in depth, *Proc. Roy. Inst.*, 40, 185 (1965).
58. *Грегори Р. Л.* Глаз и мозг. М.: Прогресс, 1970.
59. *Gregory R. L.* Origin of eyes and brains, *Nature*, London, 213, 5047, 369-372 (1967).
60. *Gregory R. L.* Perceptual illusions and brain models, *Proc Roy. Soc. "B"* (1968).
61. *Hawkins G.S.* Stonehenge Decoded, London, 1966.
62. *Helmholtz H.* Handbook of Physiological Optics, Dover reprint, 1963.

63. *Henle P.* (ed.), *Language, Thought and Culture*, Univ. Michigan Press/Ambassador, Canada (1958).
64. *Hochberg J. E.* Effects of the Gestalt revolution, *Psych. Rev.*, 64, 2, 16-19 (1957).
65. *Hochberg J. E.* *Perception*, Englewood Cliffs, 1964.
66. *Holland H. C.* *The Spiral After-Effect*, Oxford, 1965.
67. *Holway A.H., Boring E.G.* Determinants of apparent visual size with distance variant, *Amer. Journ. Psychol.*, 54, 21 (1941).
68. *Hospers J.* *Meaning and Truth in the Arts*, Chapel Hill, N. C., 1946.
69. *Hoyle F.* Speculations on Stonehenge, *Antiquity*, 40, 160, 262-276 (1966).
70. *Hubel D.H., Wiesel T. N.* Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex, *Journ. Physiol.*, 160, 106 (1962).
71. *Hubel D.H., Wiesel T. N.* Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex, *Journ. Physiol.*, 195, 215-243 (1968).
72. *Ittelson W. H.* Size as a cue to distance, *Amer. Journ. Psychol.*, 64, 54-67; 188-202 (1951).
73. *Ittelson W. H.* *Visual Space Perception*, New York, 1960.
74. *Ittelson W. H.* *The Ames Demonstrations in Perception*, New York, 1968.
75. *Julesz B.* Binocular depth perception of computer-generated patterns, *Journ. Bell Telephone Co.*, 39, 1125 (1960).
76. *Kaufman L., Rock I.* The moon illusion, *Sci. Amer.*, 204, 120 (1962).
77. *Katz J. J.* *The Philosophy of Language*, New York—London, 1966.
78. *Köffka K.* *Principle of Gestalt Psychology*, New York, 1935.
79. *Köhler W.* *Physical Gestalten*, 1920.
80. *Köhler W.* *Dynamics of Psychology*, London—New York, 1940.
81. *Langdon F.J.* The perception of a changing shape, *Quart. Journ. Exp. Psychol.*, 3, 157-165 (1951).
82. *Langdon F. J.* Further studies in the perception of a changing shape, *Quart. Journ. Exp. Psychol.*, 5, 89-107 (1953).
83. *Larousse Encyclopedia of Astronomy*, Eng. tr. London, 1959.
84. *Lee D.* Theory of the stereoscopic shadow-caster, an instrument for the study of binocular kinetic space perception, *Vision Research*, 9, 145-156 (1969).
85. *Leibowitz H.* *Visual Perception*, New York, 1965.
86. *Lenneberg E. H.* *The Biological Foundations of Language*, New York, 1967.
87. *Lenneberg E. H.* *A Biological Perspective of Language. New Directions in the Study of Language*, Cambridge, Mass., 1964.

88. *Lettvin J. K., Maturana H. R., Pitts Ж., McCulloch W. S.* What the frog's eye tells the frog's brain, *Proc. Inst. Rad. Eng.*, New York, 47, 1940 (1959).
89. *Mach E.* *Space and Geometry in the Light of Physiological, Psychological and Physical Inquiry* (1906), tr. McCormack, T. J., Chicago, 1906.
90. *Max Э.* *Анализ ощущений и отношение физического к психическому.* М., 1907.
91. *Medawar P.B.* *The Art of the Soluble*, London, 1967.
92. *Medawar P. B.* *Induction and Intuition in Scientific Thought*, London, 1969.
93. *Miller G. A.* *Language and Communication*, London, 1951.
94. *Miller G.A.* The magic number seven; plus or minus two; some limits to our capacity for processing information, *Psych. Rev.*, 63, 81-97 (1956).
95. *Morgan W.D., Lester H.* *Stereo Realist Manual*, New York, 1954.
96. *Morris D.* *The Biology of Art*, London, 1962.
97. *Morrison P., Morrison E.* *Charles Babbage and his Calculating Engines*, Dover, 1961.
98. *Müller-Lyer F. C.* *Optische Urteilsuntersuchungen.* *Arch Physiol. Suppl.* Bd. 2, 263-270(1889).
99. *McCallough C.* Colour adaptation of edge detectors in the human visual system, *Science*, 149, 1115-1116 (1965).
100. *Nasmyth J.* *James Nasmyth Engineer: an Autobiography*, ed. by Smiles S., London, 1885.
101. *Necker L. A.* Observations on some remarkable phenomena seen in Switzerland; and an optical phenomenon which occurs on viewing of a crystal or geometrical solid, *Phil. Mag. (3 sen)*, 1, 329-337 (1832).
102. *Neisser U.* *Cognitive Psychology*, New York, 1967.
103. *Newell A., Simon H.A. G. P. S.*, a programme that stimulates human thought, *Lernende Automaten*, Munich: R.Oldenbergs K. G. (1961), and in Feigenbaum E. A., Feldman J. (eds.), *Computers and Thought*, London, 1963.
104. *Ogle K. N.* *Researches in Binocular Vision*, London, 1950.
105. *Oldfield R.C., Marshall J.C.* *Language*, Harmondsworth, 1968.
106. *Oldfield R.C., Zangwill O. L.* Head's concept of schema and its application in contemporary British psychology, *Brit. Journ. Psychol.*, 32, 4, 267-286 (1942).
107. *Penrose L.S., Penrose R.* Impossible objects: a special type of illusion, *Brit. Journ Psychol.*, 49, 31 (1958). (Рус. пер.: *Пенроуз Л., Пенроуз Р.* Невозможные объекты // *Квант.* 1971. № 5.)

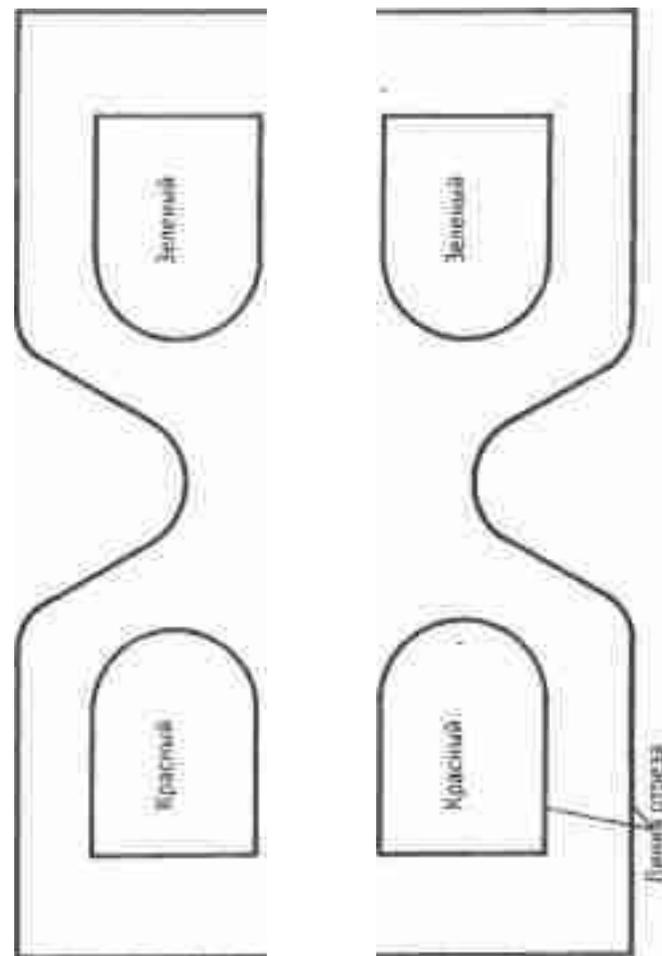
108. *Plaget J.* The Origins of Intelligence in Children, New York, 1952.
109. *Piaget J.* The Language and Thought of the Child (1926), London, 1960.
110. *Pierce J. R.* Signals, Symbols and Noise, London, 1962.
111. *Popper K. R.* The Logic of Scientific Discovery, London, 1959. (Рус. пер.: *Поппер К.* Логика научного открытия. М., 1994.)
112. *Pritchard R. M., Heron Ж., Hebb D. O.* Visual perception approached by the method of stabilised images, Canadian Journ. Psychol., **14**, 67-77 (1960).
113. *Pullan J. M.* The History of the Abacus, New York, 1969.
114. *Rubin E.* Synoplevede gurer, Copenhagen, 1915.
115. *Rushton W.A.H.* Visual Adaptation, the Ferrier Lecture 1962, Proc. Roy. Soc. "B", **162**, 20-46 (1965).
116. *Rushton W. A. H.* Bleached rhodopsin and visual adaptation, Journ. Physiol., **181**, 645-655 (1965).
117. *Russell B.* History of Western Philosophy, London, 1946. (Рус. пер.: *Рассел Б.* История западной философии. М., 1959. (Неоднократно переиздавался.))
118. *Schiller P., Wiener M.* Binocular and Stereoscopic Viewing of Geometric Illusions, Perceptual and Motor Skills, **15**, 739-747 (1962).
119. *Seckel H. P. G.* Birdheaded Dwarfs: studies in developmental anthropology including human proportions, Springfield, 111., 1960.
120. *Segall M. Я., Campbell D. T., Herskovits M. J.* The Influence of Culture on Visual Perception, New York, 1966.
121. *Shannon C. E., Weaver W.* A Mathematical Theory of Communication, Urbana, 1949.
122. *Short E.* A History of Religious Architecture (1925), London, 1955.
123. *Spottiswoode R., Spottiswoode N.* The Theory of Stereoscopic Transmission and its Application to the Motion Picture, Berkeley, 1953.
124. *Tausch R.* Optische Täuschungen als artifizielle Effect der Gestaltungsprozess von Grossen und Formenkonstanz in der natürlichen Raumwahrnehmung, Psychol. Forsch., **24**, 299-348 (1954).
125. *Thiery A.* Über geometrisch-optische Täuschungen. Phil. Stud., **12**, 67-125 (1896).
126. *Thome /. P.* Grammars and Machines, Trans. Phil. Soc., 30-45 (1964).
127. *Thome J. P., Bratley P., Dewer H.* The syntactical analysis of English by machine, in *D.Michie* (ed.), Machine Intelligence, **3**, Edinburgh, 1968.
128. *Thouless R.H.* Phenomenal Regression to the Real Object, **1**, Brit. Journ. Psychol., **21**, 339 (1931).

129. *Thouless R. H.* Individual Differences in Phenomenal Regression, Brit. Journ. Psychol., **22**, 216 (1932).
130. *Tibbetts P.* (ed.), Perception: Selected Readings in Science and Phenomenology, Chicago, 1969.
131. *Толанский С.* Оптические иллюзии, М.: Мир, 1967.
132. *Valyus N.A.* Stereoscropy, London—New York, 1962.
133. *Vernon M. D.* The functions of schemata in perceiving, Psych. Rev., **62**, 180-192 (1955).
134. *Walls G. L.* The Vertebrate Eye and its Adaptive Radiation, Cranbrook Institute Science Bull., **19** (1942).
135. *Wertheimer M.* Principles of Perceptual Organisation (1923). tr. in *El-lis Ж Я.* Source Book of Gestalt Psychology, London—New York, 1938.
136. *Wheatstone C.* On some remarkable, and hitherto unobserved phenomena of binocular vision, Phil. Trans. Roy. Soc., **128** (1838).
137. *White J.* The Birth and Rebirth of Pictorial Space, London, 1958.
138. *Wittgenstein L.* Tractatus Logico-Philosophicus, London, 1922. (Рус. пер.: *Витгенштейн Л.* Логико-философский трактат // Витгенштейн Л. Философские работы. Ч. 1. М., 1994.)
139. *Wittgenstein L.* Philosophical Investigations, Oxford, 1953. (Рус. пер.: *Витгенштейн Л.* Философские исследования // Там же.)
140. *Wollheim R.* Art and Illusion, Brit. Journ. Aesthet., **3**, 15-37 (1963).
141. *Wohlgemuth A.* On the After-Effect of Seen Movement, Brit. Journ. Psychol. Monogr. **1** (1911).
142. *Young J.Z.* Doubt and Certainty in Science, London, 1951.
143. *Zweigler H. P., Leibowüz H. W.* Apparent visual size as a function of distance for children and adults. Amer. Journ Psychol., **70**, **1**, 106-109.

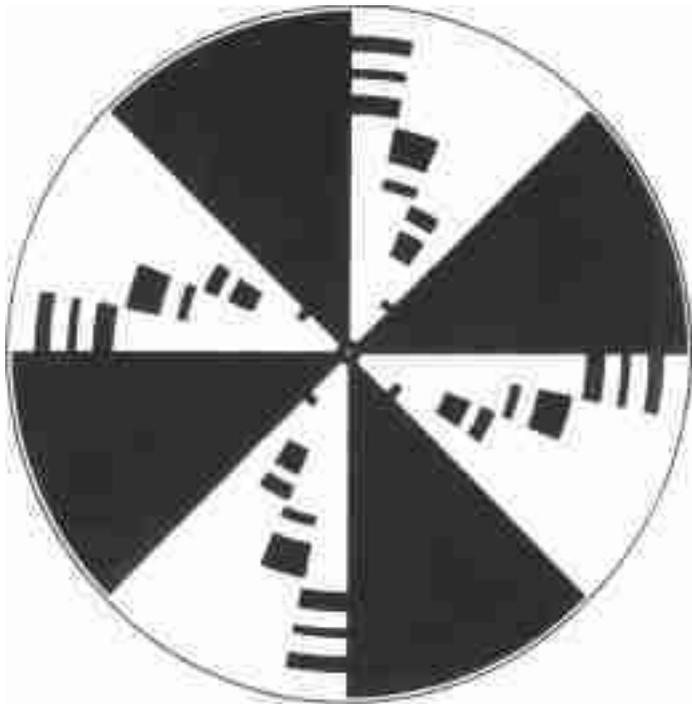
## Дополнительный список литературы к русскому изданию

- Бонгард М. М.* Проблема узнавания. М.: Наука, 1967.
- Вавилов С. И.* Глаз и солнце. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
- Болюс Н.А.* Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- Владимирский Г. А.* Построение стереоскопических проекций геометрических фигур // Математика в школе. № 3. 1937.
- Владимирский Г. А.* Альбом стереоскопических чертежей-анаглифов к курсу стереометрии. М.: Учпедгиз, 1939.
- Воронцов-Вельяминов Б. А.* Астрономия. М.: Просвещение, 1970.
- Гуревич С. С.* Объемная печатная иллюстрация. М.: Искусство, 1959.
- Коган А. И.* Бинокулярная система и восприятие трехмерного пространства // Физиология зрения. Л.: Наука, 1971.
- Кравков С. В.* Глаз и его работа. М.: Изд-во АН СССР, 1950.
- Пал И.* Начертательная геометрия с анаглифическими иллюстрациями, Будапешт.: Изд-во техн. литературы, 1961.
- Чураев Л. Я., Фаерман Г. Л.* Оптические свойства поляризационных фильтров. ЖТФ. Вып. 4-5. 1944.
- Шмаков П. В.* Основы цветного и объемного телевидения. М.: Советское радио, 1954.
- Эйзенштейн С. М.* О стереокино // Искусство кино. № 2. 1948.
- Ярбус А. Л., Гольцман Н. И.* Движения глаз при восприятии изображений в стереокино // Труды ин-та биол. физики. 1. 1955.

\* Не будучи специалистом по искусствоведению, языковедению, электронике, астрономии и т. д., переводчик решаете рекомендовать читателю лишь те работы, которые имеют непосредственное отношение к экспериментальным и теоретическим вопросам зрительного восприятия, затрагиваемым в этой книге. Предлагаемый список рассчитан на тех, кто разрабатывает (или намерен разрабатывать) эти вопросы. — *Прим. перев.*







## **Издательство УРСС**

специализируется на выпуске учебной и научной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской Академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений.

### **Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!**

Основываясь на широком и плодотворном сотрудничестве с Российским фондом фундаментальных исследований и Российским гуманитарным научным фондом, мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования\*и распространения.

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

*Лекаш В. А.* Ключ к пониманию физиологии.

*Николс Дж. Г. и др.* От нейрона к мозгу. Под ред. *Балабана П. М., Гиниатуллина Р. А.*

Системные аспекты психической деятельности. Под ред. *Судакова К. В. и др.*

*Розин В. М.* Психическая реальность, способности и здоровье человека.

*Розин В. М.* Беседы о реальности и сновидения Марка Вадимова.

*Розин В. М.* Визуальная культура и восприятие. Как человек видит и понимает мир.

*Альберт Х.* Трактат о критическом разуме.

*Шишков И. З.* В поисках новой рациональности: философия критического разума.

*Майданов А. С.* Тайны великой «Ригведы».

*Майданов А. С.* Процесс научного творчества.

*Сачков Ю. В.* Научный метод: вопросы и развитие.

*Новиков А. С.* Научные открытия (опыт темпорального анализа).

*Карнап Р.* Философские основания физики. Введение в философию науки.

*Кива М. М.* Астрология философии.

*Коуре А.* Очерки истории философской мысли.

*Грюнбаум А.* Философские проблемы пространства и времени.

*Пригожий И.* От существующего к возникающему.

*Лакофф Дж., Джонсон М.* Метафоры, которыми мы живем.

*Суриков К. А., Пугачева Л. Г.* Эпистемология. Шесть философских эссе.

*Жилин Д. М.* Теория систем: опыт построения курса.

*Поппер К. Р.* Все люди — философы. Под ред. *Шишкова И. З.*

*Поппер К. Р.* Объективное знание. Эволюционный подход.

*Грин Б.* Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории.

Серия «Академия фундаментальных исследований»

*Авенариус Р.* О предмете психологии.

*Шпет Г.* Внутренняя форма слова (этюды и вариации на темы Гумбольта).

*Нейгебауер О.* Точные науки в древности.

*Крачковский И. Ю.* Над арабскими рукописями.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:  
тел./факс (095) 135-44-23, тел. 135-42-46  
или электронной почтой [urss@urss.ru](mailto:urss@urss.ru).  
Полный каталог изданий представлен  
в Интернет-магазине: <http://urss.ru>

**Издательство УРСС**

Научная и учебная  
литература