Х. Р. Шиффман

ОЩУЩЕНИЕ И ВОСПРИЯТИЕ

5-е издание

ПИТЕР®

Москва · Санкт-Петербург · Нижний Новгород · Воронеж
Ростов-на-Дону · Екатеринбург · Самара
Киев · Харьков · Минск
2003

ГЛАВА 8

Восприятие движения

В предыдущих главах мы говорили преимущественно о восприятии неподвижного предмета находящимся в покое наблюдателем. Однако восприятие неподвижного объекта, спроецированного на зафиксированную сетчатку находящегося в покое наблюдателя, — крайне редкое явление. Большинство организмов относительно подвижны и перемещаются в мире, наполненном разнообразными перемещающимися объектами: источниками удовлетворения их физиологических потребностей которые нужно преследовать, либо источниками опасности — хищниками или движущимися препятствиями, — встреч с которыми следует избегать

Биологическая роль восприятия движения чрезвычайно велика. Чтобы их движения были эффективными, животные должны быть в состоянии определять, где именно, в каком направлении, а нередко — и с какой скоростью перемещаются те или иные объекты. Не вызывает сомнения, что информация о движении имеет решающее значение для выживания большинства биологических видов, и вполне вероятно, что в ходе эволюционного развития именно к формированию способности воспринимать движение окружающая среда предъявляла более жесткие требования, чем к формированию любого другого аспекта зрительного восприятия Говоря об этом, Грегори высказывает предположение об эволюционном приоритете восприятия движения над восприятием формы (Gregory, 1977, p 93)·

> В строении сетчатки человеческого глаза сохранились некоторые особенности эволюционного развития зрительной системы, начиная от глаза, способного воспринимать лишь движение, и кончая глазом, воспринимающим формы Периферия сетчатки чувствительна только к движению Вы сами можете убедиться в этом, попросив кого-нибудь помахать каким-либо предметом в области периферии вашего поля зрения таким образом, чтобы стимулировать только края сетчатки Вы увидите, что воспринимаете только движение и его направление, но не можете определить, какой предмет движется Если прекращается движение, объект становится невидимым Это очень близко к тому, что наблюдается при примитивном восприятии (этот эксперимент — максимальное приближение к примитивному восприятию, которое нам доступно). Самые удаленные от центральной ямки края сетчатки еще более примитивны: при их стимуляции движением мы вообще ничего не ощущаем, но при этом возникает рефлекс поворота глаз, благодаря которому объект оказывается в центре поля зрения, и к его идентификации подключается высокоорганизованная центральная

ямка и связанные с нею нейроны более высоких уровней зрительной системы. Следовательно, периферия сетчатки — это инструмент раннего предупреждения, вызывающий такой поворот глаз, в результате которого высокоразвитая объекторазличительная часть зрительной системы нацеливается на объект и определяет, полезен он, вреден или нейтрален.

В этой главе мы опишем механизмы и процессы, на которых основано восприятие движения. Мы рассмотрим как физиологические, так и поведенческие механизмы восприятия движения, обратив особое внимание на некоторые явления, связанные с движением, в том числе на паттерны оптического движения и биологическое движение. Мы опишем и такие аномалии восприятия движения, как кинетический эффект глубины, индуцированное движение и стереоэффект Пульфриха, а также некоторые примеры кажущегося, или иллюзорного, движения, включая стробоскопическое движение, «движущиеся картины» (кинематограф), автокинетическое движение и эффект последействия движения. Завершит главу краткое описание прогнозирования траекторий движения. Начнем же мы с описания нейронных структур, обеспечивающих восприятие движения.

Детекторы движения

С эволюционной точки зрения восприятие движения представляет собой базовый аспект зрения, имеющий принципиальное значение для выживания видов. В естественных условиях движение объекта может быть сигналом опасности, от которой нужно как можно быстрее скрыться, либо свидетельством появления пищи или особи противоположного пола. Большинство животных, в том числе и все позвоночные, обладают способностью воспринимать движение, причем в основе восприятия движения многими видами лежат сложные нейронные процессы (Groh, 2000; Treue et al., 2000; Movshon & Newsome, 1992; Rind & Simmons, 1999). Более того, установлено, что нейронные механизмы, специализирующиеся на анализе движения, формируются в очень раннем возрасте. Так, ребенок способен следить за движущимся предметом вскоре после появления на свет (Nanez, 1988).

В предыдущих главах мы уже упоминали рецепторы, чувствительные к движению. В главе 3 сказано о специфической реакции на движущийся стимул ганглиозных *M*-клеток сетчатки (Yang & Masland, 1992). Мы также описали и роль магноцеллюлярного слоя латерального коленчатого тела (ЛКТ) в обработке информации о движущемся предмете. Дополнительные доказательства существования нейронов, специализирующихся на восприятии движения, получены и при изучении коры головного мозга (затылочной доли) (Dupont et al., 1994). Как отмечалось в главе 3 при обсуждении вопроса о рецептивных полях нейронов, существуют клетки, которые реагируют не просто на движение, но на движение в определенном направлении. Более того, слой *MT* затылочной доли коры головного мозга (или слой V5) получает нейронный импульс от реагирующих на движение клеток зрительной коры (Movshon & Newsome, 1992; Rosenzweig et al.,1999). В то время как рецептивные поля чувствительных к движению клеток зрительной коры относительно малы, избирательны и реагируют только на локальное перемещение,

многие нейроны *MT* воспринимают движение, совершаемое на бóльших по площади участках поля зрения. Однако, как и иннервирующие их чувствительные к движению клетки зрительной коры, многие нейроны демонстрируют ярко выраженную избирательность по отношению к направлению движения. Существует точка зрения, согласно которой нейроны *MT* интегрируют информацию о различных формах движения, выступая в роли основных его детекторов. (Albright, 1992; Logethetis & Schall, 1989; Salzman & Newsome, 1994).

Хотя нейронные процессы, лежащие в основе восприятия движения человеком, и распределены по многим участкам мозга, основную роль в них играют нейроны слоя *MT*. Это подтверждается результатами клинического обследования женщины, у которой после перенесенного инсульта была повреждена зона *MT* коры головного мозга (Zihl et al., 1983). Результатом этих повреждений явилась некая форма *агнозии движения,* называемая **акинетопсией** (что в дословном переводе с греческого означает «взгляд, плохо видящий движение»). Несмотря на то что зрение пациентки сохранило все свои функции, включая остроту и бинокулярность (т. е. интерактивное использование обоих глаз), а также восприятие формы и цвета, она утратила способность воспринимать бóльшую часть движений, совершаемых как на плоскости, так и в пространстве, и только фиксировала конечный результат движения — сам факт перемещения предметов с одного места на другое. Клинические обследования показали, что хотя больная частично и воспринимала как движение вверх-вниз, так и движение взад-вперед, ее возможности ограничивались маленьким участком поля зрения. Кроме того, она совершенно не воспринимала движений в глубину. «Ей было трудно наливать чай или кофе в чашку, потому что она не видела подъема жидкости, казавшейся ей застывшей, замороженной. Более того, она не могла вовремя остановиться, поскольку не воспринимала изменения уровня жидкости в чашке или в кастрюле» (p. 315). Больная также жаловалась на то, что ей трудно следить за беседой, поскольку она не видит мимики собеседника, и прежде всего — движений его губ. Если вместе с ней в комнате оказывалось одновременно более двух человек, ей становилось не по себе и она сразу же уходила, ибо, как она сама говорила: « Я не видела, как люди переходили с места на место. Только что они были здесь, а в следующий момент — уже там» (p. 315). Особенно неуютно пациентка чувствовала себя в толпе, среди двигающихся людей и предметов, например на улице, и по возможности старалась избегать подобных ситуаций. Она не могла переходить улицу, потому что была не в состоянии оценить скорость приближающихся машин, хотя без труда различала их: «При первом взгляде на машину мне кажется, что она очень далеко. Но стоит мне начать переходить улицу, как она оказывается рядом» (p. 315). Со временем, однако, она научилась справляться со своим недугом и компенсировать неспособность воспринимать движение. Так, она научилась оценивать приближение машин по возрастающему шуму. Невозможность воспринимать движение носила очень специфический характер и касалась только ее зрительной системы. У пациентки сохранилась способность тактильного восприятия движения (т. е. она без труда реагировала на раздражитель, перемещающийся по поверхности ее кожи) и способность реагировать на звук как признак движения (т. е. на движущийся источник звука).

Системы глаза, обеспечивающие восприятие движения

Казалось бы, что наиболее общий способ вызвать восприятия движения — последовательная стимуляция ряда соседних сетчаточных элементов. Однако таким образом нельзя вызвать восприятие всех форм движения. Движения объекта воспринимаются только в том случае, если его образ на сетчатке относительно неподвижен, т. е. тогда, когда глаза совершают следящие движения. При этом движения глаз совпадают с движением объекта, вследствие чего ретинальное изображение более или менее неподвижно. По мнению Грегори, существуют две взаимосвязанные системы восприятия движения: «изображение—сетчатка» и «глаз—голова» (рис. 8.1).

Система, обеспечивающая восприятие движения «изображение—сетчатка»

Для системы «изображение—сетчатка» эффективный способ вызывать восприятие движения — последовательная стимуляция примыкающих друг к другу сетчаточных рецепторов. Если глаз относительно неподвижен, как, например, во время фиксации взгляда, по сетчатке «пробегает» ряд изображений, вызванных движу-

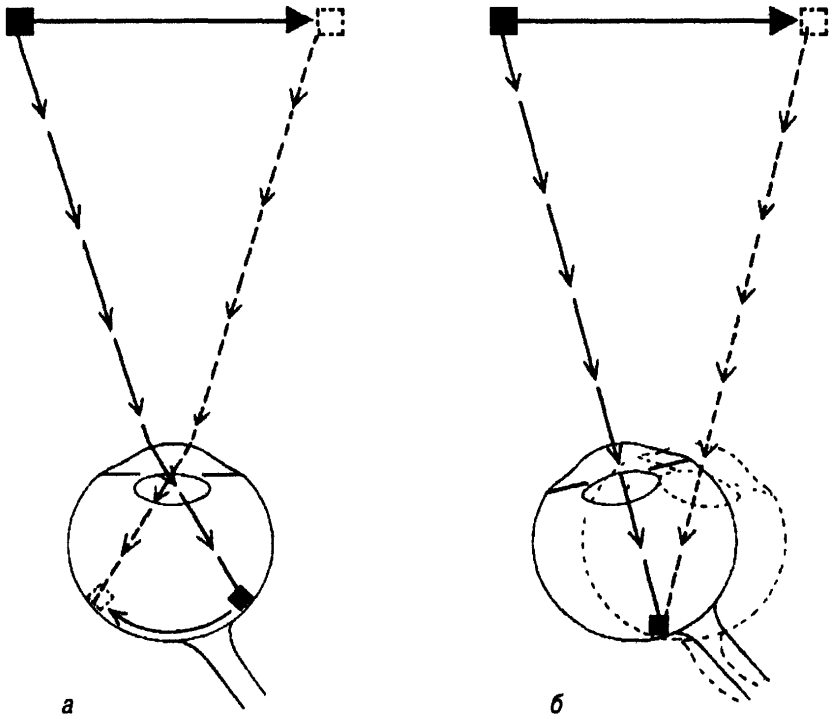

Рис. 8.1. Системы глаза, обеспечивающие восприятие движения

а – система восприятия движения «изображение–сетчатка». Образ движущегося объекта пробегает по сетчатке, сообщая информацию о движении неподвижному глазу. *б* – система восприятия движения «глаз–голова». За перемещающимся объектом наблюдает глаз, совершающий следящие движения, вследствие чего образ на сетчатке относительно неподвижен, однако это не мешает восприятию движения объекта. Изображения, перемещающиеся по сетчатке, воспринимаются как стационарные фоновые стимулы, а изображения, остающиеся неподвижными во время движения глаз, – как движущиеся объекты. (*Источник*: Gregory, 1973)

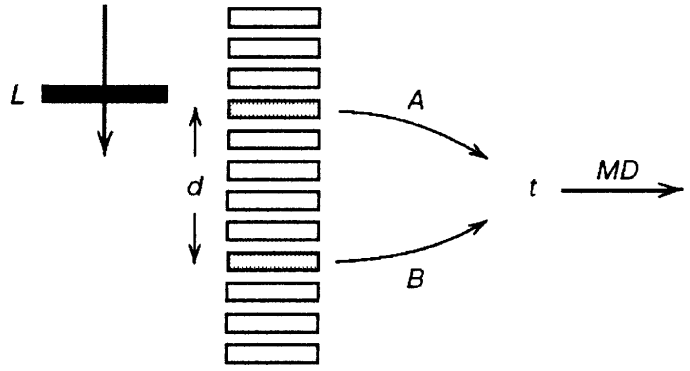

Рис. 8.2. Нейронная модель детектора движения

Два сетчаточных рецептора *A* и *B*, расположенные на расстоянии *d* друг от друга, связаны с детектором движения *MD*. Детектор движения реагирует в том случае, если свет *L* сначала воздействует на рецептор *A*, а затем сразу же или через какой-то определенный промежуток времени *t* – на рецептор *B*. (*Источник*: J. F. Schouten. Subjective stroboscopy and a model of visual movement detectors. В кн.: W. Wathen-Dunn (Ed.). *Modes for the perception of visual form*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1967)

щимся стимулом. Регистрируемое таким образом движение — результат последовательной активности рецепторов сетчатки, через которые «пробегает» образ предмета. Подобная система детектирования движения хорошо согласуется с мозаикой омматидиев, характерной для сложного глаза членистоногих (см. рис. 3.4 в главе 3). Нейронная модель детектора движения, соответствующая системе восприятия движений «изображение–сетчатка», представлена на рис. 8.2.

Система, обеспечивающая восприятие движения «глаз—голова»

Когда мы следим глазами за движущимся объектом (как правило, наши глаза совершают при этом следящие движения), изображение объекта на определенном участке сетчатки (или центральной ямки) остается более или менее неподвижным. В этом случае движение глаз компенсирует движение объекта, но это не мешает нам воспринимать его. Если объект, за которым ведется наблюдение, передвигается на фоне неподвижной текстурированной поверхности, например если речь идет о наблюдении за катящимся по полу мячом, изображение объекта на сетчатке остается неподвижным, а изображение текстурированной поверхности будет скользить («пробегать») по ней. Однако для восприятия движения объекта восприятие стимуляции поверхностью не обязательно. Например, движение светящейся точки в темной комнате дает достаточно информации для восприятия движения, хотя в то время, когда мы следим за ней, нет никакой стимуляции сетчатки фоном.

Сейчас вполне уместно задать следующий вопрос: каким образом объект может быть воспринят как находящийся в движении, если его изображение на сетчатке более или менее неподвижно? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно хотя бы вкратце рассказать о том, как зрительная система управляет движениями глаз. Когда глаза следят за движущимся объектом, мозг посылает им нейронные сигналы, называемые **эфферентными сигналами**, благодаря которым глаза в глазницах двигаются именно так, как надо в данный момент. Эти нейронные сигналы — команды глазным мышцам — поступают непосредственно как ответ на движение объекта

и только тогда, когда глаза совершают *произвольные* движения. (В данном контексте *активными*, или *произвольными*, называются не только сравнительно редкие, непосредственно контролируемые и осознанные движения глаз, которые мы совершаем, например, если сознательно переводим взгляд справа налево. Этим термином мы также обозначаем и те обычные движения глаз, и прежде всего следящие движения, которые были описаны в главе 4, т. е. те движения, которые совершаются автоматически и бессознательно и регистрируются зрительной системой, когда мы читаем, следим за движущимся объектом или просто смотрим по сторонам.) Ниже мы обсудим роль этих активных, произвольных, эфферентных сигналов в восприятии движения.

Теория упреждения сигнала. Одним из наиболее распространенных зрительных событий является сканирование окружающей обстановки и восприятие ее как стационарной. Например, читая текст на этой странице и переводя взгляд слева направо и сверху вниз, вы стимулируете этим свои сетчатки, однако и страница, и текст остаются неподвижными. Каким бы простым и обыденным ни казалось это явление, оно тоже заставляет нас обратиться все к тому же принципиальному вопросу: почему, несмотря на движения глаз, то, что находится в поле нашего зрения, остается неподвижным? Когда наши глаза совершают активные движения, пусть даже и незначительные, по сетчатке проносится поток образов окружающих нас предметов, при этом стимулируется ряд рецепторов сетчатки, и в соответствии с тем, что было сказано о системе восприятия движения «изображение—сетчатка», мы должны были бы воспринимать движение. Однако этого не происходит. Для объяснения этого явления в рамках **теории упреждения сигнала** была высказана мысль о наличии гипотетического нейронного механизма, который учитывает командные сигналы, автоматически приводящие глаза в движение, и сравнивает их с результирующими изменениями изображения на сетчатке, вызванными движениями глаз. Так, когда глаза совершают активные движения, эфферентные двигательные сигналы, посылаемые мозгом глазным мышцам и приводящие глаза в движение, нейтрализуются, отменяются или подавляются (компенсируются) результирующим потоком образов, вызываемых этими самопроизвольными движениями глаз.

Более конкретно суть теории упреждения сигнала может быть изложена следующим образом: когда мозг посылает глазным мышцам моторную команду, он одновременно посылает в гипотетический **центральный блок сравнения сигналов** и связанный с этой командой **упреждающий сигнал** (также называемый **утечкой сигнала**) (рис. 8.3).

Полагают, что функции центрального блока сравнения сигналов, хотя бы частично, исполняет *мозжечок*, сложная подкорковая структура, играющая принципиальную роль в поддержании равновесия тела и координации движений (Blakemore et al., 1998; Middleton & Stricr, 1998; Miles & Fuller, 1975). Следовательно, сигналы, приводящие в движение глаза, регистрируются сетчаткой. Эта вводная информация о движении, или **афферентные сигналы**, зарегистрированные сетчаткой, поступают в центральный блок сравнения сигналов, где сравниваются с упреждающими сигналами, пришедшими в центральный блок сравнения из мозга (Matin, 1986).

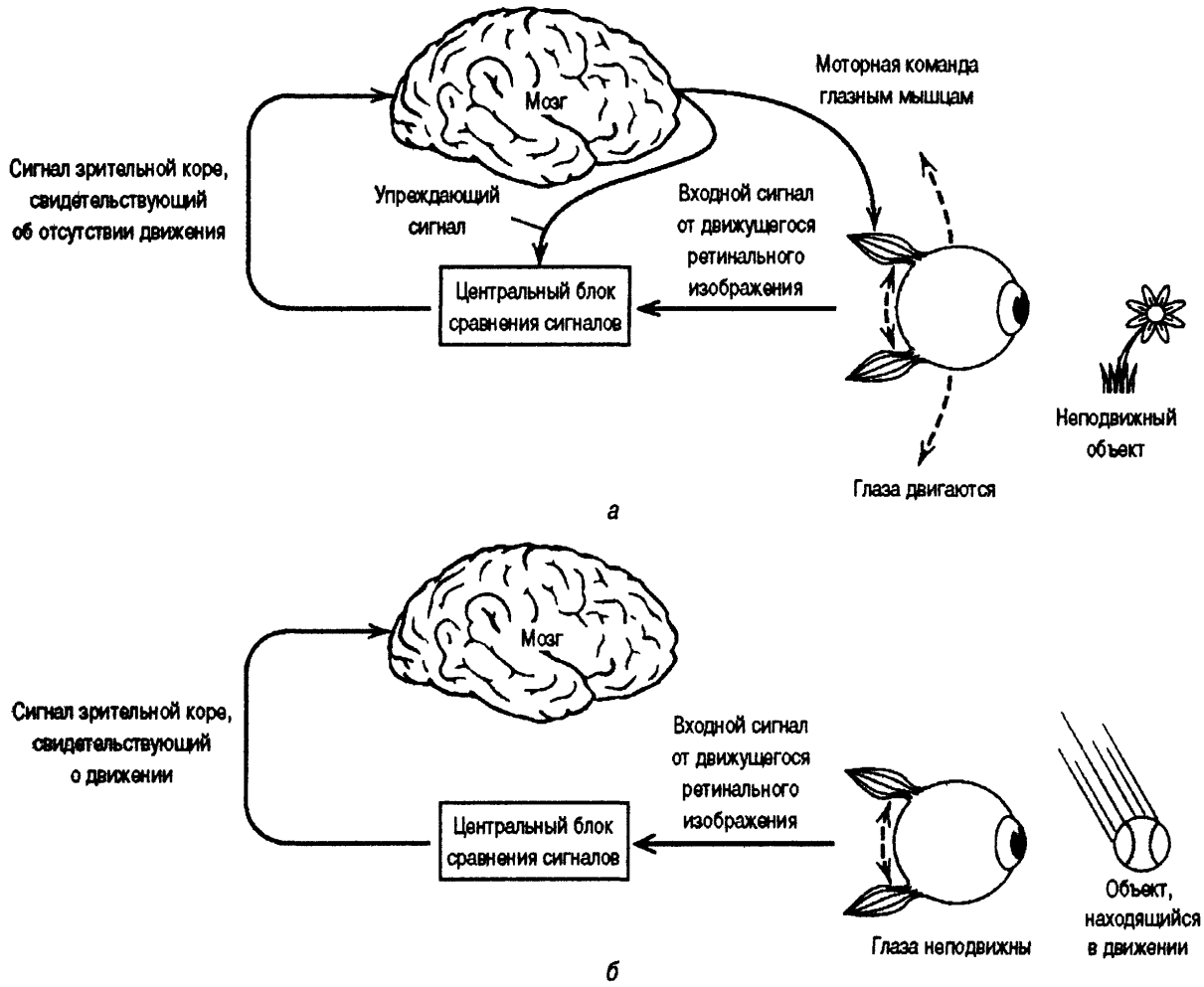

Рис. 8.3. Схематическое изображение центрального блока сравнения сигналов и упреждающий сигнал для двух условий

а – окружающие предметы неподвижны, и имели место произвольные движения глаз. Когда мозг посылает глазам команду двигаться, он одновременно посылает центральному блоку сравнения сигналов упреждающий сигнал. Произвольные движения глаз вызывают движение соответствующего сетчаточного изображения, что тоже создает сигнал, поступающий в центральный блок сравнения сигналов. Происходит сравнение упреждающего и входного сигналов, создаваемых движением сетчаточного образа. Если они оба свидетельствуют о движении, как показано на *а*, они взаимно уничтожаются и никакого восприятия движения нет (см. табл. 8.1, п. 2). *б* – глаза неподвижны, а объект перемещается. Как и при условиях, описанных в *а*, сигнал от движущегося ретинального изображения поступает в центральный блок сравнения сигналов. Однако поскольку произвольные движения глаз отсутствуют, в центральный блок сравнения не поступает упреждающий сигнал и сигнал к движению сетчаточного образа *не отменяется*, как это было при условиях, описанных в *а*. Результатом является восприятие движения (см. табл. 8.1, п. 1)

На рис. 8.3 схематически представлена роль центрального блока сравнения в двух ситуациях: 1) когда глаза совершают произвольные движения, а объект наблюдения неподвижен и 2) когда глаза неподвижны, а объект наблюдения перемещается. Если входящие сигналы согласуются с упреждающим сигналом или соответствуют ему (т. е. если оба сигнала указывают на присутствие движения, как показано на рис. 8. 3, *а*), движения глаз вызывают перцептивную *отмену*, или подавление, перемещения сетчаточного образа. Вследствие этого окружающая обста-

новка и воспринимается как стационарная, несмотря на изменения в ретинальном изображении, вызванные его перемещением. Следовательно, если изменения в сетчаточном образе произвольны, т. е. являются *исключительно* результатом активных движений глаз, а не результатом движения объекта или всего того, что находится в поле зрения, последующий сетчаточный входящий сигнал соответствует упреждающему сигналу и зрительная система компенсирует (подавляет) или отменяет эти изменения. Перцептивным результатом такой ситуации является восприятие визуального объекта как *неподвижного*. Подобные изменения в сетчатке происходят и при беглом осмотре объектов, находящихся в поле зрения (сканировании) неподвижных предметов, находящихся в поле зрения.

Напротив, если движение образа на сетчатке, отражением которого является сигнал, входящий в центральный блок сравнения, не соответствует упреждающему сигналу, движение *воспринимается*. Следовательно, когда глаза неподвижны и перемещаются только объекты, находящиеся в поле зрения (рис. 8.3, *б*), упреждающий сигнал, способный отменить результирующее движение, отраженное во входном сигнале, не возникает и движение воспринимается. Это типичные условия функционирования нашего зрения, в которых «работает» система восприятия движения «изображение–сетчатка». Следовательно, благодаря стимуляции системы восприятия движения «изображение–сетчатка», наша зрительная система способна отличить движение ретинального изображения, вызванное одними лишь активными, произвольными движениями глаз, от его движения, причиной которого является реальное перемещение различных объектов.

Теперь мы готовы обсудить тот самый вопрос, с которого начали, а именно способность воспринимать движение объекта при слежении за ним даже тогда, когда его ретинальное изображение остается неподвижным. В данном случае произвольные следящие движения глаз создают упреждающие сигналы, не соответствующие входным афферентным сигналам. Вместо того чтобы генерировать входные сигналы, свидетельствующие о перемещении сетчаточного образа, образ физически перемещающегося объекта стабилизируется на сетчатке. Поскольку стимуляция сетчатки не отменяется и не компенсируется упреждающими сигналами, объект воспринимается как движущийся. Следовательно, когда мы следим за перемещающимся объектом, его образ остается зафиксированным на сетчатке: упреждающий сигнал *не вызывает* его перцептивной отмены. Именно поэтому мы и воспринимаем движение. С другой стороны, входные сигналы, являющиеся следствием стимуляции сетчатки фоном объекта, отменяются и фон воспринимается как неподвижный (рис. 8.3, *а*). Короче говоря, когда глаза совершают активные следящие движения, поле зрения неподвижного фона объекта стабильно, и воспринимается только перемещение физически движущихся объектов.

Из этого анализа системы восприятия движения «глаз—голова» следует, что когда движения глаз *непроизвольны* — а это значит, что отсутствуют упреждающие сигналы, — стимуляция сетчатки перемещающимися по ней изображениями не может быть компенсирована и движение объектов или всего того, что находится в поле зрения, будет восприниматься. Это подтверждается и наблюдением, которое приписывается Герману фон Гельмгольцу и суть которого заключается в том, что когда глазное яблоко приводится в движение искусственно, *пассивно*, т. е. когда

стимулируется *только* система восприятия движения «изображение–сетчатка», создается превратное впечатление, что все, попадающее в поле зрения, находится в движении.

Экспериментальное подтверждение

Пассивное движение глазного яблока

Вы и сами без труда можете убедиться в этом. Закройте один глаз и осторожно проведите пальцем по нижнему веку открытого глаза справа налево или сверху вниз. Вам покажется, что все, что вы видите, перемещается в направлении, противоположном направлению движения глаза. Когда вы прикасаетесь к глазному яблоку, глаз начинает двигаться, что, в свою очередь, вызывает перемещение по сетчатке образа воспринимаемого вами стимула. Однако поскольку движение глаза – *пассивное* движение (т. е. оно вызвано не командой мозга глазным мышцам, а вашим пальцем), оно стимулирует только систему восприятия движения «изображение–сетчатка». Вследствие этого не возникает никакого упреждающего сигнала, способного отменить перемещение изображения по сетчатке, и вы воспринимаете сцену в движении. Эту же мысль можно выразить и по-другому: поскольку отсутствуют какие-либо доказательства того, что перемещение образа по сетчатке является результатом движений глаза, мозг решает, что оно вызвано перемещением самих визуальных объектов. В результате вам кажется, что они перемещаются, ибо глаз совершает пассивные движения и отсутствуют как произвольные импульсы, активно направляющие движения глаз, так и сопровождающие их упреждающие сигналы (Bridgeman & Delgardo, 1984). Вывод, который может быть сделан из вышесказанного, заключается в следующем: при наблюдении за стационарными объектами пассивные движения глазного яблока стимулируют систему восприятия движения «изображение–сетчатка» *без* соответствующих упреждающих сигналов, в результате чего и создается впечатление движения.

Дополнительные доказательства роли упреждающих сигналов в восприятии движения получены выдающимся физиком Эрнстом Махом, который провел эксперимент, противоположный эксперименту Гельмгольца (Gregory, 1973). Он не пользовался приемами, искусственно вызывающими движения глаз, а напротив, фиксировал их мастикой так, чтобы они не могли двигаться. Когда же он все-таки попробовал привести их в движение, оказалось, что визуальная сцена движется в том же направлении, в котором пытались двигаться глаза. В условиях этого эксперимента *возникали* и самопроизвольные сигналы-команды глазным мышцам, и упреждающие сигналы, но поскольку глаза были зафиксированы, они не сопровождались никакими афферентными сигналами (т. е. движением изображения по сетчатке). Иными словами, одни лишь упреждающие сигналы без сравнимых с ними афферентных сигналов движения создают такое впечатление, что поле зрения перемещается в том же направлении, в каком пытаются, но не могут двигаться глаза. (Результаты более поздних экспериментальных исследований роли самопроизвольных движений глаз и упреждающих сигналов в восприятии движения при иммобилизации глаз описаны в Stevens et al., 1976; Matin et al., 1982.)

И последнее. Поразительные результаты получены в ходе клинического обследования человека, у которого при активных движениях глаз не возникали упреждающие сигналы (Haarmeler et al., 1997). Нейрологическое обследование с привлечением МРТ выявило патологию того участка первичной зрительной коры, кото-

рый, должно быть, имеет критически важное значение для обработки информации о движении, сообщаемой активными движениями глаз. Без упреждающих сигналов пациент не мог компенсировать самопроизвольные движения глаз, и поэтому каждый раз, когда он смотрел на неподвижные предметы, ему казалось, что они двигаются со скоростью, соответствующей скорости движения его глаз.

В табл. 8.1 обобщены некоторые описанные выше результаты влияния движения объекта и изображения на сетчатке для случаев, когда присутствуют и отсутствуют самопроизвольные движения глаз (и упреждающие сигналы).

Таблица 8.1

Влияние движения объекта, изменений сетчаточного изображения и произвольных движений глаз на восприятие движения

Система восприятия движения	Типичная активность	Активность объекта (или окружающей обстановки)	Образ на сетчатке	Произвольные движения глаз и упреждающие сигналы	Восприятие
«Изображение—сетчатка»	Фиксация	Движение	Изменяется	Нет	Движение
«Глаз—голова»	Сканирование	Неподвижен	Изменяется	Да	Отсутствие движения
«Глаз—голова»	Слежение	Движение	Не изменяется	Да	Движение

Рассмотрим первую ситуацию, при которой активна только система «изображение—сетчатка». Объект перемещается в поле зрения, его образ на сетчатке изменяется, но глаза неподвижны. Упреждающих сигналов, способных отменить (компенсировать) изменения, происходящие на сетчатке, нет, и движение воспринимается. Подобное возможно в том случае, когда ваш взгляд зафиксирован на неподвижном объекте, а в поле вашего зрения возникает другой, движущийся объект. Во второй ситуации активна система «глаз—голова». Глаза сканируют неподвижную сцену, вызывая изменения сетчаточного образа. Однако, поскольку движения глаз самопроизвольны, результирующие упреждающие сигналы отменяют в центральном блоке сравнения сигналов сигналы об изменениях, происходящих на сетчатке, и движение не воспринимается. Именно это и происходит, когда вы просто смотрите на неподвижные предметы вокруг себя. Третья ситуация тоже описывает активную систему «глаз—голова». Объект перемещается на фоне другого, неподвижного объекта, а глаза наблюдателя совершают следящие движения. Изображение объекта на сетчатке зафиксировано. В результате, поскольку движения глаз самопроизвольны, упреждающие сигналы отменяют изменения в ретинальном изображении, вызванные стимуляцией фоном, который поэтому и воспринимается как неподвижный. Однако поскольку эти сигналы не компенсируют сигналов от неподвижного ретинального изображения объекта, за которым следят глаза, последний и воспринимается как движущийся. Подобное происходит тогда, когда ваши глаза следят за перемещающимся объектом.

Когда мы поворачиваем голову, шею или поворачиваемся всем корпусом и эти движения совершаются независимо от движений глаз, нам не кажется, что вокруг

много двигающихся объектов. Общий механизм, лежащий в основе системы восприятия движения «глаз—голова», не просто следит за движениями глаз, но и управляет общей ориентацией индивидуума (Blakemore et al., 1999). А это значит, что центральная нервная система таким образом учитывает взаимодействие визуальной информации и информации о положении тела в пространстве, что, совершая активные движения, мы, несмотря на вызванные ими изменения сетчаточного изображения, *преимущественно* воспринимаем окружающий мир как относительно стабильный. Так, произвольные, активные сигналы-команды, которые мы подаем глазодвигательным мышцам, когда ходим, бежим трусцой, бегаем, прыгаем, просто встаем со стула или поднимаемся по лестнице, объединяются с результирующими изображениями через сетчатку и отменяются вместе с этим движением. Следовательно, благодаря упреждающим сигналам, генерируемым во время наших активных движений, мы обычно воспринимаем окружающий нас мир как относительно стабильный. Функциональное преимущество подобного механизма, обеспечивающего осмысленное взаимодействие динамичного организма с динамичной средой, очевидно.

Оптическая стимуляция как источник восприятия движения

В окружающем нас мире предметы перемещаются по-разному, в разных направлениях и с разными скоростями. В довершении к этому, по мере того как перемещается сам наблюдатель, постоянно изменяется и местоположение точки, с которой он видит то, что его окружает. Все эти динамичные события вызывают соответствующие изменения освещенности ретинального изображения. Следовательно, восприятие движения вычленяется из сложного паттерна изменяющихся стимуляций, отраженного в сетчаточном образе. О некоторых наиболее информативных ситуациях, создаваемых этими переменами, будет рассказано ниже.

Паттерны оптического потока

Когда индивидуум перемещается в окружающем его мире, изображение на сетчатке изменяется в соответствии с физическими характеристиками движения. Иными словами, по мере того как наблюдатель перемещается, непрерывно изменяется оптическая проекция большинства поверхностей (т. е. полов, стен, потолков, дорог и полей). Паттерн изменений, создаваемый движением наблюдателя, называется **паттерном оптического потока**.

Как следует из рис. 8.4, когда наблюдатель приближается к поверхности, расположенной прямо перед ним, сфокусировав взгляд на точке *F*, ему начинает казаться, что контуры радиально расступаются, расходятся от фокальной точки, отступая все дальше и дальше на край поля зрения, создавая радиальный паттерн оптического потока. Фокальная точка паттерна потока, созданного движением наблюдателя к ней, называется *фокусом экспансии* и соответствует направлению движения наблюдателя.

Векторы на рисунке обозначают изменение оптических паттернов конфигурации, создаваемое продвижением наблюдателя вперед в трехмерном пространстве.

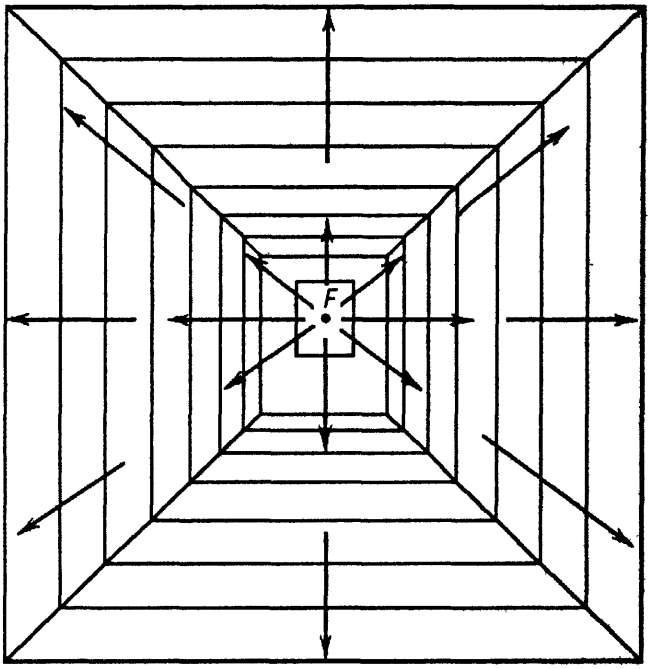

Рис. 8.4. Паттерн оптического потока
По мере приближения наблюдателя, сфокусировавшего свой взгляд на точке *F*, к поверхности, расположенной непосредственно перед ним, ему начинает казаться, что все элементы фигуры «текут» мимо него

Поскольку паттерн оптического потока создается движением наблюдателя, он является надежным источником информации о *направлении* этого движения (Warren & Hannon, 1988, 1990; Warren, Morris & Kalish, 1988; Kim et al., 1996). Все мы постоянно сталкиваемся с паттернами оптического потока. Они возникают всякий раз, когда мы едем в машине, или бежим трусцой по дороге, или идем по коридору какого-либо здания, глядя прямо перед собой. Нетрудно смоделировать любой сложный паттерн оптического потока, создающий впечатление движения в определенном направлении. Именно манипулирование паттернами оптического потока при помощи сложных световых дисплеев и создает поразительные эффекты движения в большинстве видеоигр.

Сетчаточная экспансия и скорость движения

Информация о характере изменений в сетчатке тоже помогает наблюдателю оценивать относительную скорость их движения. При движении к стационарной поверхности (например, при движении к точке *F* на рис. 8.4) сетчаточный образ увеличивается. Источник информации о движении, образующийся в результате этого, называется **сетчаточной экспансией**. По мере приближения наблюдателя к стационарной поверхности скорость сетчаточной экспансии (т. е. степень увеличения сетчаточного образа стационарной поверхности) непосредственно отражает скорость его приближения. Быстрое увеличение образа поверхности на сетчатке наблюдателя, приближающегося к стационарной поверхности, может быть потенциальным сигналом, предупреждающим о возможности *столкновения* с ней. Аналогичным образом можно представить себе и противоположную ситуацию, при которой поверхности или предметы приближаются к неподвижному наблюдателю. Объект на поверхности, расположенной перед наблюдателем на близком или дальнем расстоянии, будет восприниматься как приближающийся с некоторой скоростью, если его ретинальное изображение начнет увеличиваться. Следовательно, увеличение

изображения на сетчатке неподвижного наблюдателя воспринимается последним как движение в его сторону, и скорость увеличения изображения отражает скорость движения объекта (Schiff, 1965). Это перцептивное явление, называемое *луминг,* будет подробно описано в главе 11.

Изменения величины образа объекта на сетчатке могут также свидетельствовать о таком редком, а потому маловероятном явлении, как изменение величины стационарного объекта. Когда непосредственных пространственных признаков для восприятия движения недостаточно, увеличение изображения объекта на сетчатке может явиться результатом одного из двух независимых друг от друга событий: 1) объект неподвижен по отношению к наблюдателю, но он увеличивается в размере или 2) объект действительно приближается к наблюдателю с некоторой постоянной скоростью. Если у неподвижного наблюдателя нет никакой другой зрительной информации, постепенное увеличение сетчаточного образа, например круглого предмета, может означать, что стационарный шар постепенно раздувается, но это также может означать и то, что шар, габариты которого не изменяются, постепенно приближается к наблюдателю. В ситуации, не дающей достаточных оснований для ее однозначного толкования, изменения габаритов объекта могут явиться как признаком его физического увеличения, так и сигналом его движения. Однако известен функциональный, адаптивный подход к возможным перцептивным последствиям таких ситуаций, и он заключается в следующем: «В тех случаях, когда нет однозначной информации об изменении формы объекта, зрительная система (возможно, с помощью некоего косвенного нейронного механизма) реагирует так, словно изменение габаритов является следствием приближения объекта к наблюдателю. Подобное решение можно назвать лучшим выходом из положения. У любого животного (включая и человека) было бы мало шансов выжить, имей он зрительную систему, склонную лениво размышлять над тем, что делает хищник — быстро приближается к нему или быстро раздувается!» (Regan et al., 1979, p. 142).

Пороги восприятия движения

Насколько эффективно мы обнаруживаем движение? С одной стороны, объекты могут с такой скоростью проноситься по полю зрения, что в лучшем случае мы замечаем лишь размытое пятно. Но, с другой стороны, есть и такие объекты и события, скорость движения которых настолько мала, что мы едва замечаем его. Змея может очень медленно подкрадываться к своей жертве, но поражает ее с такой быстротой, что человек вообще может не увидеть никакого движения. Обратившись к более знакомым примерам, можно сказать, что мы не замечаем движения часовой стрелки часов и с трудом замечаем движение минутной стрелки, а вращающиеся лопасти мощного электрического вентилятора практически неразличимы.

Пороговые значения для восприятия движения — минимальная скорость, которая может быть обнаружена, — зависят от многих физических и психофизиологических факторов, а не только от скорости движения как таковой. Порог восприятия движения зависит от таких факторов, как величина объекта и компоненты пространственной частоты, расстояние от движущегося объекта и его фон (например, однородный он или текстурированный), уровень освещенности, стимулируемый участок сетчатки и степень адаптации глаз (Gegenfurtner et al., 1999). Так,

лучше всего движение обнаруживается (т. е. пороговые значения самые низкие) в тех случаях, когда хорошо освещенные стимулы, образы которых проецируются на центральную ямку, перемещаются на фоне неподвижных предметов. Рассмотрим следующие конкретные пороговые условия. Когда стимулируется центральная ямка, хорошо освещенный стимул величиной 0,8 см^2, находящийся на расстоянии, равном 2 м, обнаруживается при условии, что скорость его движения равна примерно 0,2 см/с (Brown. 1931; Spigel, 1965). Для сравнения: когда стимул, находящийся на расстоянии 2 м от наблюдателя, двигается со скоростью, превышающей 150 см/с, он воспринимается скорее как размытое пятно, нежели как движущийся стимул. Оставив в стороне конкретные данные, можно сказать, что существуют как нижний предел порога — минимальная обнаруживаемая скорость, ниже которой движение не воспринимается (Bonnett, 1982), так и верхний предел порога — максимальная обнаруживаемая скорость, выше которой движение также не обнаруживается (Burr & Ross, 1982). Анализ и обобщение информации об определении порога восприятия движения представлены в Mack, 1986. Иными словами, объекты, которые перемещаются *либо* слишком медленно, *либо* слишком быстро, не воспринимаются как движущиеся.

Биологическое движение

Будучи бдительными людьми, мы, как правило, следим за перемещениями других людей. Наблюдение за этими перемещениями дает богатую информацию о том, как индивидуумы взаимодействуют с окружающим миром. Мы быстро понимаем, бежит человек или идет, прыгает или танцует, делает зарядку или поднимается по стремянке. Более того, мы даже можем заметить незначительные отклонения от общепринятых норм. Мы без труда замечаем, что кто-то прихрамывает и что пожилые люди сутулятся и ходят медленно; мы не только нередко узнаем людей по характерным для них позам, походке и жестикуляции, но даже копируем их.

С эволюционной точки зрения способность быстро идентифицировать разные виды моторной активности находящихся в движении людей и других животных вполне оправданна. Чтобы приспособиться к среде обитания, необходимо быстро распознавать различные формы движения, причем нередко это распознавание происходит при такой освещенности, когда не только непросто идентифицировать личность, но и определить, к какому виду относится передвигающийся организм. Так что нет ничего удивительного в том, что в ходе эволюции у нас выработался механизм извлечения точной информации о биологической, моторной активности, основанный исключительно на особенностях движения. Сложный характер движений, определяющий восприятие этих «гештальтподобных» актов «одушевленного» движения, образован из комбинаций движений, напоминающих движения маятника, причем эти движения специфичны для каждого типа активности. (Вспомните фактор «общей судьбы» — один из гештальтистских факторов группирования, описанных в главе 7.) Паттерны движения одушевленных объектов, названные шведским ученым, специалистом в области нейрофизиологии и психологии Гуннаром Йоханссоном **биологическим движением**, привлекли к себе большое внимание исследователей (Johansson, 1973, 1975).

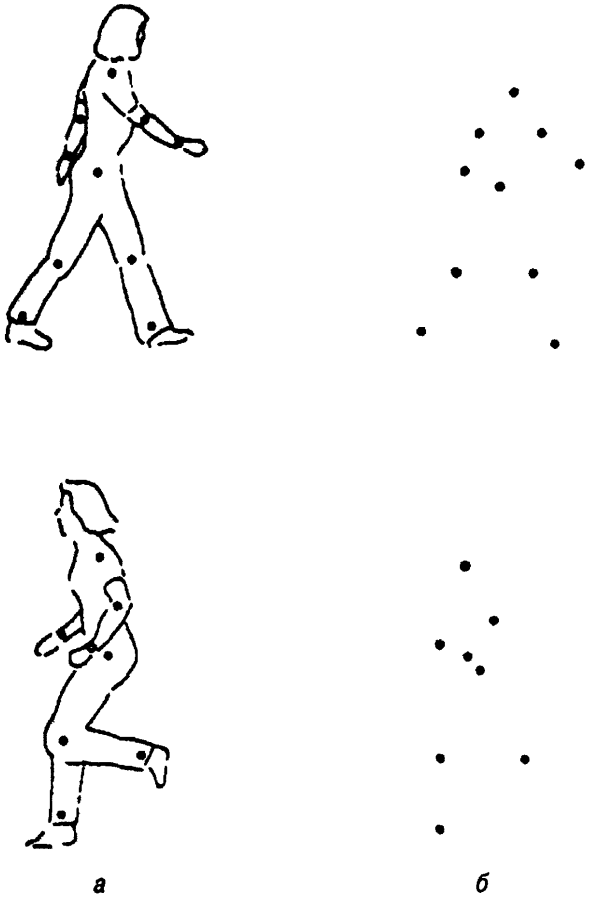

Рис. 8.5 Силуэты идущего и бегущего человека (*а*) и соответствующее этим движениям взаимное расположение светящихся точек (*б*)

Наблюдавшие за светящимися точками участники эксперимента буквально по первым двум шагам актера определяли, идет он (конфигурация точек, представленная вверху) или бежит (конфигурация точек, представленная внизу). (*Источник:* G Johansson Visual Perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14, 1973, p 202)

Йоханссон разработал элегантный метод, который позволил ему выделять и непосредственно изучать визуальную информацию, необходимую для восприятия чистого биологического движения без какого бы то ни было влияния таких не связанных непосредственно с движением признаков, как форма движущегося объекта и объекты, на фоне которых это движение совершается. В одном из его экспериментов движения актера записывались на видеопленку, однако это происходило в полной темноте и были видны только 10 светящихся точек, обозначавших основные суставы (т. е. были видны лишь *комбинации светящихся точек*) (рис. 8.5, *а*).

Как следует из рис. 8.5, *б*, при этом полностью исключалось влияние на зрительное восприятие как фона, так и контуров тела актера. У наблюдавших за движущимися конфигурациями точек, представленных на рис. 8.5, *б*, спонтанное восприятие узнаваемого движения наступало сразу же, стоило актеру сделать шаг или два. Комбинации светящихся точек, обозначавших суставы, создавали столь сильное впечатление характерных, присущих двигательной системе человека движений, что испытуемые были просто не в состоянии интерпретировать их как-нибудь по-другому. Они также не могли воспринимать их просто как ряд не связанных друг с другом перемещающихся светящихся точек. Когда движение прекращалось, конфигурация точек утрачивала всякое сходство с очертаниями фигуры человека. Это красноречиво свидетельствует о том, что впечатление о специфическом движении есть результат движения всех светящихся точек вместе и их перемещения относительно друг друга — паттерна движения.

Восприятие биологического движения, представленного в виде конфигураций светящихся точек

Дальнейшее изучение восприятия походки с использованием кинетических дисплеев светящихся точек показало, что можно узнать не только свою собственную походку, но и походки друзей (Cutting & Kozlowski, 1977). Более того, походки мужчин и женщин имеют ярко выраженные и идентифицируемые отличительные особенности (Cutting & Proffitt, 1981; Cbtting, Proffitt & Kozlowski, 1978; Mather & Murdoch, 1994). Конфигурация светящихся точек идентифицировалась как мужчина, когда восприятие движений плеч превалировало над восприятием движений бедер, и как женщина — в противоположной ситуации (Barclay et al., 1978; Cutting, 1978; Runeson & Frykholm, 1983; Mather & Murdoch, 1994).

Взаимное расположение светящихся точек в перемещающихся конфигурациях позволяет наблюдателям оценить и то, с каким усилием совершается то или иное движение. Рьюнсон и Фрикхолм описали эксперимент, в котором демонстрировались динамические точечные светящиеся дисплеи, соответствовавшие человеку, бросавшему небольшой матерчатый мешок с бобами на расстояние от 6 до 26 футов (приблизительно 1,8–8 м). (Runeson & Frykholm, 1983). Однако наблюдателям предоставлялась только информация о движении светящихся точек, которыми были обозначены суставы бросавших мешок людей (ни самого мешка, ни траектории его полета наблюдатели не видели). Однако это не помешало им весьма точно оценить расстояние, проделанное мешком с бобами. В близком по смыслу эксперименте наблюдатели так же точно оценивали вес относительно тяжелых предметов (например, шаров для боулинга), которые ловили участники эксперимента, хотя об усилиях последних можно было судить только по взаимному расположению светящихся точек, обозначавших их суставы (как и в опыте с мешком бобов, самого шара наблюдатели не видели) (Henderson et al., 1993).

Восприятие биологического движения, представленного исключительно комбинациями светящихся точек на телевизионном экране, доступно не только взрослым. Известно, что младенцы не только отличают имитацию биологического движения от имитации небиологического (или стохастического) движения, но начиная примерно с четырехмесячного возраста отдают явное предпочтение биологическому движению (Fox & McDaniel, 1982. См также Bertenthal, 1992).

Восприятие биологического движения не ограничивается также и одним лишь восприятием движений людей. Люди способны идентифицировать движения разных животных, пересекающих поле их зрения, — бабуинов, верблюдов, кошек, собак, слонов, лошадей, львов, рогатого скота, свиней — исходя исключительно из динамических точечных светящихся дисплеев, соответствующих виду этих животных сбоку (Mather & West, 1993). Более того, некоторые животные, например обезьяна (Oram & Perrett, 1994) и кошка (Blake, 1993), до некоторой степени тоже воспринимают биологическое движение, когда это движение создается изменяющейся комбинацией светящихся точек.

Вычленение биологического движения из комбинаций светящихся точек происходит мгновенно и автоматически; очевидно, что это не требует от наблюдателя

ни обработки сложной визуальной информации, ни какой бы то ни было специальной подготовки. Участники экспериментов идентифицировали аспекты знакомых движений даже тогда, когда мелкие сегменты, содержащие последовательные элементы биологического движения, предъявлялись им всего на 100 мс (т. е. на 1/10 с) (Johansson, von Hofsten & Jansson, 1980). Дополнительная информация о влиянии пространства и времени на восприятие биологического движения представлена в Neri et al., 1998.

Легкость, с которой биологическое движение вычленяется из динамических конфигураций светящихся точек и интерпретируется, возможно, отчасти связана с нейронной активностью соответствующих отделов коры головного мозга. Доказано, что в восприятии биологического движения участвуют специфические участки коры. С помощью ПЭТ было доказано, что когда взрослые люди наблюдают за комбинациями светящихся точек, отражающих танцевальные движения или движения человека, берущего в руку чашу и подносящего ее ко рту, некоторые виды движений вызывали повышенную нейронную активность определенных участков коры, и в первую очередь — теменной доли (Bonda et al., 1996).

Завершая этот подраздел, можно сказать, что различные проявления моторной активности, присущей человеку как биологическому виду, даже представленные только комбинациями движущихся светящихся точек, расположение которых соответствует основным суставам, легко воспринимаются и достаточно информативны для того, чтобы вызвать сильные, четкие впечатления о сложном характере движения.

Искажения восприятия движения

Причиной искаженного восприятия физического движения, присущего многим динамическим событиям, является либо неверное восприятие двигательной активности, либо ее ошибочное толкование. Более того, кажущееся движение объекта и контекст, в котором это движение совершается, могут влиять на восприятие его формы или очертаний. Ниже будут рассмотрены два явления, иллюстрирующие это влияние движения: *кинетический эффект глубины* и *анортоскопическое восприятие*. Затем мы обсудим *индуцированное движение* и *стереоэффект Пульфриха*, обратив основное внимание на роль всего пространственного контекста в восприятии движения окружающих нас предметов.

Глубина, создаваемая движением: кинетический эффект глубины

Если несколько двухмерных теней, например таких, как те, что возникают при вращении проволочного куба, спроецировать на просвечивающий экран (рис. 8.6, *а*), возникнет совершенно определенное впечатление, что вращается жесткий объемный предмет. Это явление называется **кинетическим эффектом глубины** (Wallach & O'Connell, 1953). Неподвижный проволочный куб отбрасывает плоскую, двухмерную тень.

Однако при вращении куба вокруг его вертикальной оси изменяющийся паттерн теней создает впечатление глубины и кажется, что вращается не проволочный,

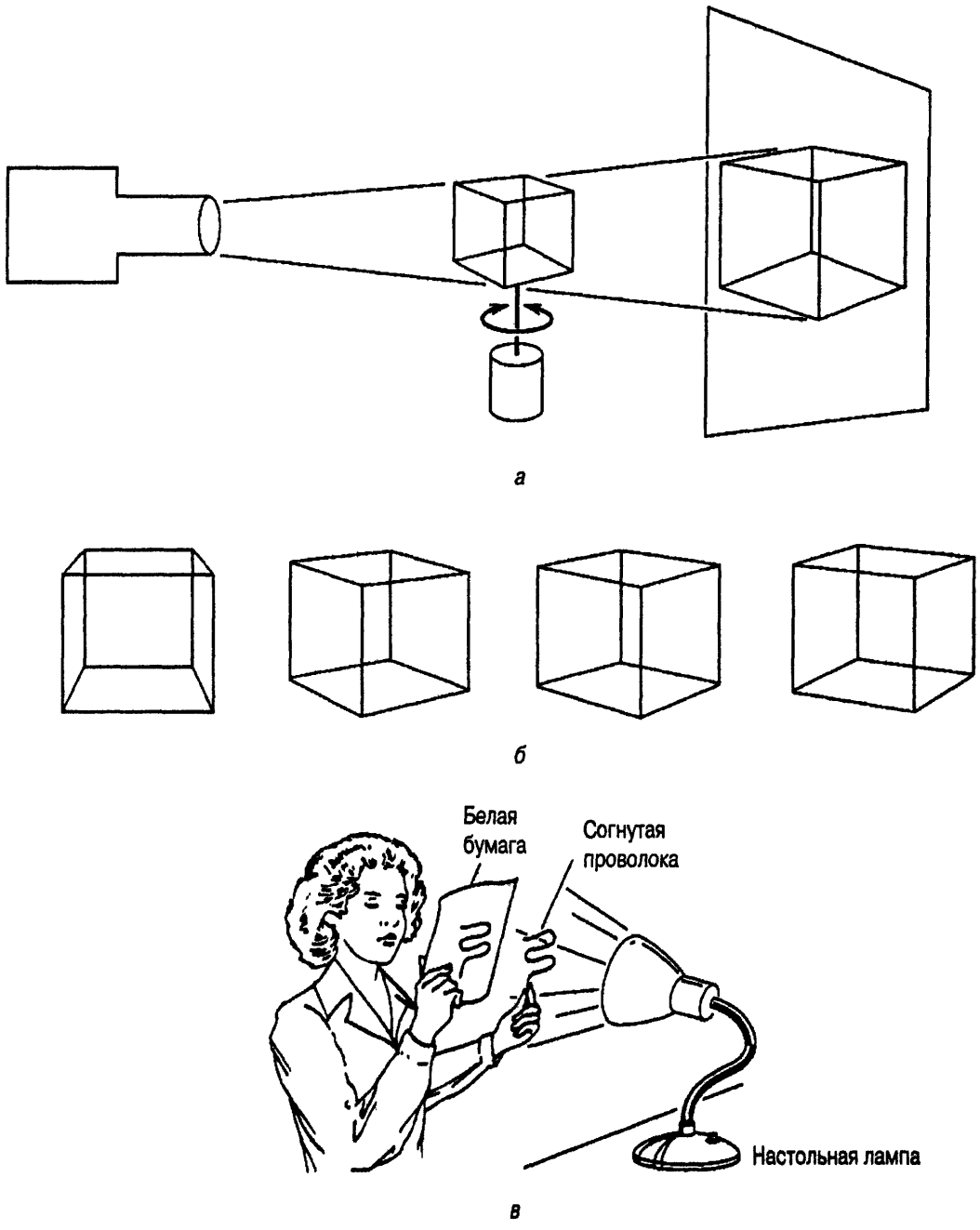

Рис. 8.6. Кинетический эффект глубины

а – установка для демонстрации кинетического эффекта глубины с помощью проволочного куба. *б* – проекции вращающегося проволочного куба. *в*. Простое приспособление для демонстрации кинетического эффекта глубины с предметом незнакомой формы (описание приводится в тексте)

а сплошной куб, хотя все его движения проецируются на плоский экран. Это значит, что на сетчатку проецируется такая последовательность зрительных образов, которая стимулирует ее точно так же, как и целостный образ, являющийся результатом вращения действительно объемного, трехмерного, объекта. Пример этих сетчаточных образов представлен на рис. 8.6, *б*. В итоге зрительная система интерпретирует изменения в паттерне теней как изменения, вызываемые вращением

трехмерного объекта, а не как последовательность изменений плоских паттернов, которые в действительности проецируются на сетчатку.

Кинетическому эффекту глубины подвержено не только восприятие знакомых форм. Наблюдение за вращением такого незнакомого предмета, как произвольно изогнутая проволока, тоже вызывает кинетический эффект глубины. В качестве стационарного стимула эта проволока воспринимается как плоский предмет, и ее форма (объем) не обнаруживается. Однако же когда ее приводят во вращение, используя для наблюдения за тенями варианты тех приспособлений, что представлены на рис. 8.6, *а*, она сразу же начинает восприниматься как целостный объемный предмет. Ниже приводится описание эксперимента, графически представленного на рис. 8.6, *в*.

Экспериментальное подтверждение

Кинетический эффект глубины

Возьмите большую бумажную скрепку (или любой кусок относительно жесткой, но гибкой проволоки, например шток для чистки курительных трубок, кусок электропровода или вешалку для рубашек) и изогните ее так, чтобы получилась трехмерная фигура неправильной формы. Держите ее между листом белой бумаги и настольной лампой так, чтобы тень от проволоки падала на бумагу (см. рис. 8.6, *в*). Чтобы образ проволоки на сетчатке получился достаточно четким, расстояние между изогнутой проволокой и листом бумаги должно быть небольшим. Вращая изогнутую проволоку пальцами, наблюдайте за изменяющимся узором теней. Вращающаяся изогнутая проволока будет восприниматься как динамичная трехмерная фигура. В спокойном состоянии она будет восприниматься как двухмерный предмет неправильной формы.

Кинетический эффект глубины воспринимается пятимесячными младенцами (Schmucker & Proffitt, 1994). Следовательно, как и биологическое движение, кинетический эффект глубины характеризует базовую чувствительность к информации, которую несет в себе движение. Вообще кинетический эффект глубины и оптическое движение объекта иллюстрируют важное положение, заключающееся в том, что восприятие *движения* объекта оказывает существенное влияние на восприятие его структуры или формы (Sperling et al., 1989; Normfn & Lappin, 1992; Kourtzi & Shiffar, 1999).

Паттерн изменений, создаваемых движущимся объектом, даже в том случае, когда визуально он нечеток, может помочь обнаружить сам факт движения. Именно эту мысль подчеркивает в своих работах Бингхэм (Bingham, 1995). В одном из исследований, проведенных им вместе с коллегами, испытуемым предъявляли (с помощью динамических комбинаций нерегулярных светящихся точек) неодушевленные движущиеся целостные предметы определенной формы (методика проведения эксперимента была аналогична методике Йоханссона, описанной в разделе, посвященном биологическому движению). По паттерну активности, выявленному на основании динамических комбинаций светящихся точек, наблюдатели точно идентифицировали такие связанные с движением события, как качающийся маятник, катящийся мяч, поверхность воды, на которой появляется рябь, и опадающие листья (Bingham, Schmidt & Rosenblum, 1995).

Анортоскопическое восприятие

Восприятие движения весьма существенно зависит от условий наблюдения за движущимся объектом. Используя необычные условия наблюдения, Паркс доказал что когда изображение фигуры перемещается горизонтально за экраном таким образом, что в каждый данный момент через стационарную смотровую щель виден лишь его небольшой фрагмент, она все равно воспринимается как единая, целостная фигура (рис. 8.7. и 8.8) (Parks, 1965).

Это необычное явление, открытое в 1862 г. Цельнером (Zollner, 1860), называется **анортоскопическим восприятием**, что в дословном переводе с греческого означает «неправильное восприятие» (история открытия Цельнера кратко изложена в Rock, 1986). Интересно отметить, что в условиях динамического анортоскопического предъявления может быть распознана вся фигура, хотя в каждый данный момент видна только ее узкая полоска. Следовательно, вопреки тому обстоятельству, что одновременно на сетчатке никогда не проецируется вся фигура целиком, зрительная система способна интегрировать, или собрать воедино, ряд последовательных фрагментов, спроецированных на один и тот же участок сетчатки.

Воспринимаемая форма фигуры зависит не только от формы смотровой щели (рис. 8. 8), но и от скорости перемещения фигуры за ней. При сравнительно невысоких скоростях фигура воспринимается слегка вытянутой в длину, при относительно высоких — несколько сплюснутой (Anstis & Atkinson. 1967; Haber & Nathanson, 1968). Кроме того, фигура кажется наклоненной в сторону ее движения.

Анортоскопическое восприятие не только свидетельствует о принципиальной роли движения и фона в восприятии формы объекта, но и о том, что последовательность представленных на сетчатке относительно изолированных друг от друга изображений фрагментов объекта по прошествии какого-то времени может интегрироваться зрительной системой, благодаря чему и становится возможным восприятие всей формы объекта. Хотя детальное объяснение анортоскопического восприятия — дело будущего, уже сегодня ясно, что оно имеет ряд важных перцептивных и когнитивных последствий (подробный анализ этого явления представлен в Rock, 1983, 1986).

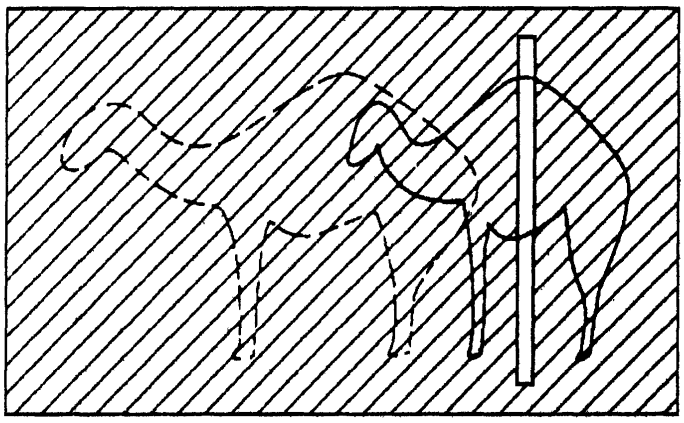

Рис. 8.7. Стимул и схематическое изображение демонстрации эффекта Паркса

Слева – стимул, справа – стимул предстает в виде сжатого верблюда. (*Источник*: T. E. Parks. Post-retinal visual storage. *American Journal of Psychology, 78,* 1965, p.148)

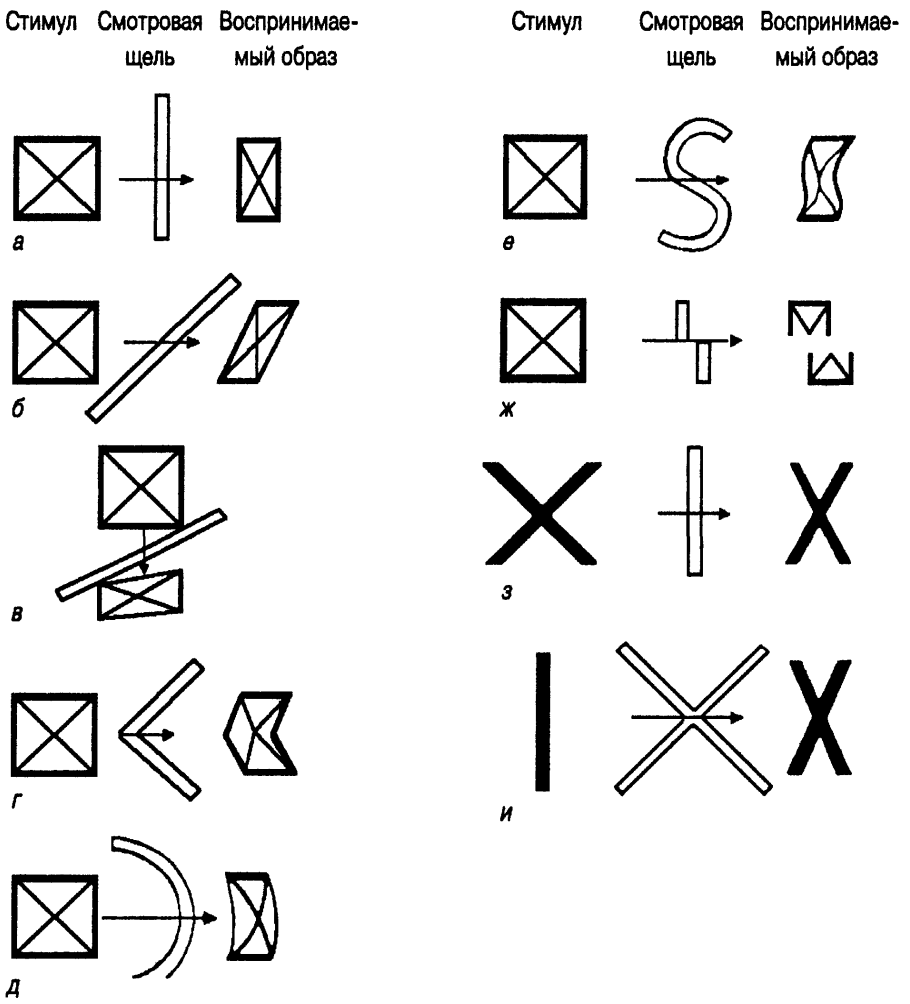

Рис. 8.8. Примеры искаженного восприятия фигур, перемещающихся позади стационарного щелевого отверстия

а – воспринимаемая фигура кажется смещенной и сжатой в направлении ее движения. *б–ж* – наклонная и искривленная смотровые щели, а также смотровая щель, образованные двумя прорезями, смещенными относительно друг друга. *е, и* – формы фигуры и смотровой щели могут быть взаимозаменяемыми. *X*-образная фигура, рассматриваемая через вертикальную смотровую щель, воспринимается точно так же, как и вертикальная фигура, рассматриваемая через *X*-образную смотровую щель. (*Источник*: S. M. Anstis & J. Atkinson. Distortions in moving figures viewed through a stationary slit. *American Journal of Psychology, 80,* 1967, p. 573)

Индуцированное движение

Пространственный контекст оказывает весьма заметное влияние на восприятие формы и величины объекта. Нередко динамический контекст таков, что наблюдатель не может точно сказать, какой именно объект находится в движении. Если две освещенные фигуры разного размера находятся в полной темноте и перемещается только та из них, которая больше, как правило, наблюдателю кажется, что она неподвижна, а движется только фигура меньшего размера. Когда речь идет о подобных невыгодных условиях визуального наблюдения, говорят, что движущийся стимул большего размера *индуцирует* движение меньшего по величине стимула.

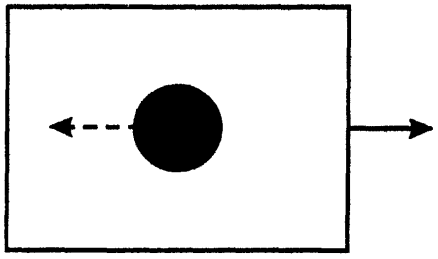

Рис. 8.9. Индуцированное движение
За светящейся точкой, помещенной в светящийся прямоугольник, наблюдают в темноте. Если прямоугольник физически смещается вправо (сплошная стрелка), создается впечатление, что находящаяся в нем точка смещается влево (пунктирная стрелка). Кажущееся движение неподвижной точки индуцировано физическим движением прямоугольника

Например, если неподвижную светящуюся точку поместить в находящийся в темноте освещенный прямоугольник и начать медленно перемещать его вправо, то создастся впечатление, что прямоугольник неподвижен, а точка сдвигается вправо. Как показано на рис. 8.9, кажущееся движение точки *индуцировано* физическим перемещением прямоугольника.

Более знакомый пример — луна на фоне покрытого тучами ночного неба. В подобной ситуации всегда создается впечатление, что луна мчится за кажущимися неподвижными тучами, хотя на самом деле все наоборот: тучи проносятся на фоне неподвижной луны и закрывают ее. Это индуцированное движение — визуальное искажение, или иллюзия, в которой присутствует реальное физическое движение, но оно ошибочно приписывается не тому фрагменту конфигурации стимулов, который его совершает, а неподвижному.

Когда есть возможность двоякого толкования признаков фона и рамочных условий, создается впечатление, что вписанный объект меньшего размера перемещается относительно описывающего его объекта большей величины. Возможно, причина этого явления заключается в тех выводах, которые мы автоматически делаем на основании своего предшествующего опыта наблюдений за взаимодействием мелких и крупных объектов в окружающем нас мире. Дело в том, что вокруг нас обычно перемещаются именно небольшие объекты, а крупные предметы вместе с фоном чаще остаются неподвижными.

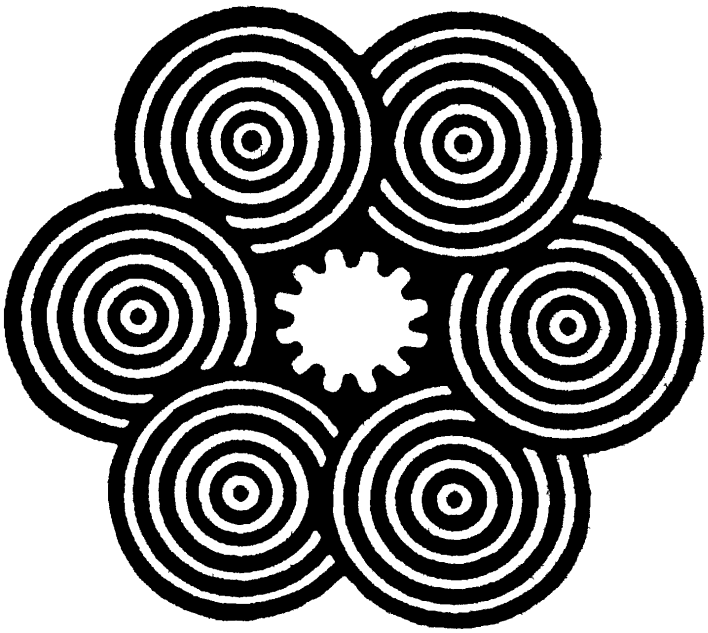

Рис. 8.10. Индуцированное вращательное движение
Держа рисунок на расстоянии, равном примерно 12 дюймам, сфокусируйте взгляд на центральной шестеренке. При перемещении страницы взад-вперед со скоростью, равной примерно 1 перемещению в секунду, вам покажется, что наружные колеса вращаются в одну сторону, а центральная шестеренка – в противоположную.
(*Источник*: Le Grand, 1967)

Индуцировать можно не только прямолинейное движение. Дункер в своем классическом труде об индуцированном движении сообщает о том, что вращение неподвижного диска с определенным узором может быть индуцировано вращением окружающих его колец, образованных концентрическими окружностями (Duncker, 1929). (Аналогичный эффект можно наблюдать и с помощью композиции, представленной на рис. 8.10. См. также Anstis & Reinhardt-Rutland, 1976; Day, 1981.)

Стереоэффект Пульфриха

Интересное перцептивное искажение физического движения, известное как **стереоэффект Пульфриха,** возникает в тех случаях, когда оба глаза стимулируются одним и тем же внешним событием, но интенсивность освещения разная. Схематически этот эффект представлен на рис. 8.11.

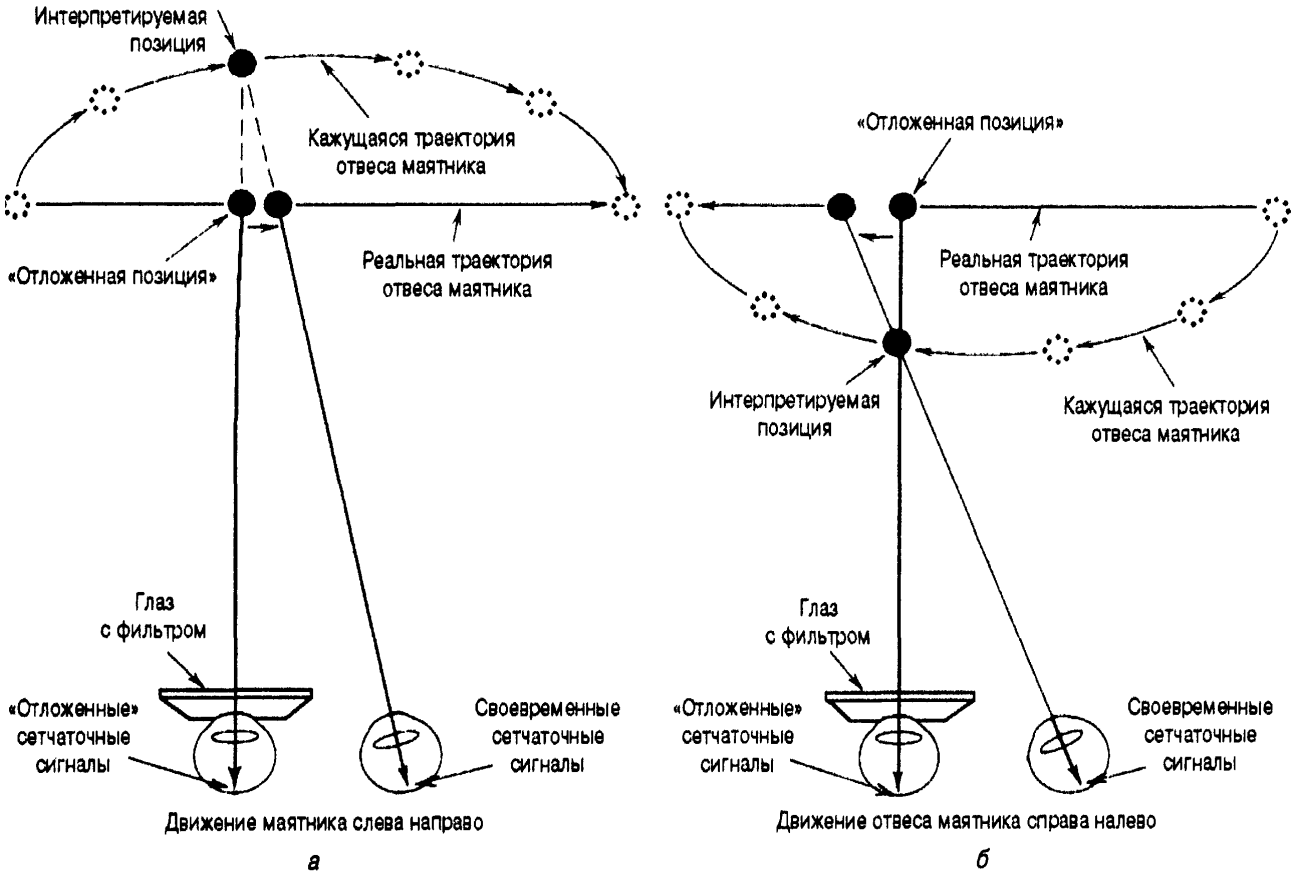

Рис. 8.11. Схематическое изображение стереоэффекта Пульфриха

Когда наблюдатель, один глаз которого прикрыт фильтром, смотрит на маятник, описывающий прямую дугу в плоскости, перпендикулярной линии его взгляда, ему кажется, что маятник описывает эллипс. Причиной этого являются «отложенные сигналы» от того глаза, который прикрыт фильтром. Перцептивный эффект проявляется в кажущемся смещении отвеса маятника в сторону *от* наблюдателя при его движении слева направо, т. е. от участка поля зрения, прикрытого фильтром, к участку без фильтра *а* и в смещении *к* наблюдателю, когда отвес маятника смещается в противоположном направлении *б*.

В обоих случаях – и в *а*, и в *б* – кажущиеся траектории, созданные сериями интерпретированных позиций отвеса маятника, соответствуют серии визуальных сигналов, которые достигли бы обоих глаз, если бы отвес маятника действительно то удалялся от наблюдателя, то приближался бы к нему, т. е. если бы отвес маятника двигался вглубь

Отвес маятника совершает возвратно-поступательное прямолинейное движение в плоскости, перпендикулярной взгляду наблюдателя. Однако когда наблюдатель смотрит на него обоими глазами, но один из них прикрыт темным фильтром (т. е. когда он в солнечных очках с одним темным стеклом), ему кажется, что отвес маятника движется по эллиптической траектории, то приближаясь к нему, то удаляясь.

По мнению Грегори (Gregory, 1973) и других авторов (Brauner & Lit, 1976; Enright, 1970), причина этого искажения — зависимость времени реакции зрительной системы от интенсивности стимуляции. Фильтр уменьшает количество света, попадающего в один глаз, что, в свою очередь, вызывает незначительную, но существенную с нейронной точки зрения задержку поступления сигнала от глаза в мозг. Следовательно, в любой момент кажущаяся позиция отвеса маятника, воспринимаемая глазом через фильтр, немного отстает от позиции, воспринимаемой глазом без фильтра, в результате чего позиции, в которых оба глаза видят отвес маятника, несколько отличаются друг от друга. Во время движения маятника слегка отличные друг от друга кажущиеся позиции отвеса, возникшие вследствие задержки сигнала от глаза с фильтром, соответствуют картине, созданной такой стимуляцией глаз и мозга, которая была бы, если бы маятник действительно двигался вглубь по эллиптической траектории. Иными словами, зрительная система тщательно сравнивает и «примиряет» несогласованную информацию, полученную мозгом от обоих глаз, тем, что воспринимает реальное движение в искаженном виде: наблюдателю кажется, что отвес маятника движется вглубь по эллиптической траектории.

Ирония заключается в том, что это явление описано и объяснено в 1922 г. немецким физиком Карлом Пульфрихом, которому не довелось испытать его на собственном опыте, ибо он был слеп на один глаз. (Подробное описание методологии изучения стереоэффекта Пульфриха и предполагаемых процессов, лежащих в его основе, читатель может найти в Emerson & Pesta, 1992; Fineman, 1981; Walker, 1978.)

Кажущееся движение

В данном разделе термином **кажущееся движение** обозначается восприятие движения в тех случаях, когда на самом деле никакого физического перемещения объекта в пространстве нет. Иными словами, речь идет об *иллюзии* движения неподвижного объекта. Однако кажущееся движение — это нечто большее, чем редкий перцептивный курьез, наблюдаемый в лабораторных условиях. В действительности кажущееся движение — чрезвычайно распространенное явление. Мы сталкиваемся с ним каждый раз, когда смотрим фильм или телепередачу. В этом разделе мы рассмотрим причины кажущегося движения и начнем с одной из его простейших форм — со *стробоскопического движения.*

Стробоскопическое движение

Ситуация, при которой два стационарных источника света, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, включаются попеременно через определенные промежутки времени, была изучена одной из первых и представляет собой один из наиболее убедительных примеров кажущегося движения (рис. 8.12).

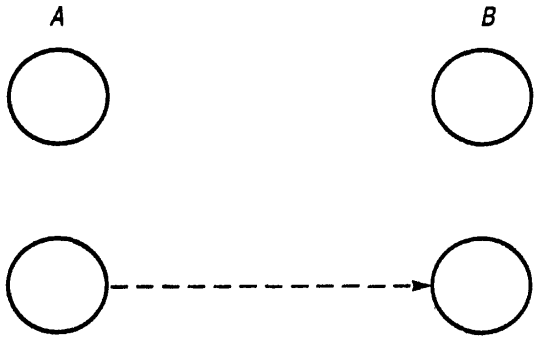

Рис. 8.12. Стробоскопическое движение, создаваемое двумя стационарными источниками света, *A* и *B*, которые включаются попеременно. При определенных интенсивности света, расстоянии между *A* и *B* и времени между их включениями возникает иллюзия, что свет движется от *A* к *B* (нижний рисунок), хотя источники света включаются последовательно

Когда источник света *A* включается, источник света *B* выключается, и наоборот. Характер кажущегося движения зависит от интервала между включениями или — что одно и то же — от межстимульного интервала (МИ). Как правило, некая форма кажущегося движения воспринимается при МИ, равном от 30 до 200 мс. Если МИ очень продолжительный (более 200 мс), то воспринимается только последовательность включений — поочередно зажигаются то один, то другой источник света. При очень коротком МИ (менее 30 мс) восприятие кажущегося движения сменяется восприятием двух источников света *A* и *B*, включающихся практически одновременно каждый на своем месте. Однако если МИ равен примерно 60 мс, условия для восприятия кажущегося движения оптимальны и создается впечатление, что одна светящаяся точка «бежит» от *A* к *B*. (Когда МИ равен 100 мс, возникает кажущееся движение необычного типа (необычный феномен), так называемое фи-движение. При этом наблюдатели ощущают движение по смещению светящихся точек, но они не видят движения объекта от одного источника света к другому.)

Кажущееся движение, возникающее в результате изменения МИ, называется **стробоскопическим движением, или бета-движением.** (Приспособление для создания стробоскопического движения — *стробоскоп* — было изобретено в 1833 г.) Эта форма кажущегося движения широко используется в различных светящихся, в том числе и неоновых, надписях — на афишах, на указателях железнодорожных переездов, а также на всевозможных рекламных щитах, указывающих дорогу к ресторанам, парковкам, почтовым отделениям и мотелям. Природа стробоскопического движения определяется не только МИ, но и интенсивностью источников света и их взаимным расположением в пространстве. Сложные зависимости, связывающие эти три переменные величины, были изучены в 1915 г. Корте и известны как *законы Корте* (см. Boring, 1942, p. 598). Например, при увеличении расстояния между источниками света для сохранения восприятия стробоскопического движения необходимо увеличить либо их интенсивность, либо МИ.

«Движущиеся картины» (кинематограф)

Эффект кажущегося движения могут вызвать не только такие простые, последовательно воздействующие на зрительную систему стимулы, как расположенные рядом точечные источники света (рис. 8.13).

На принципах, о которых будет рассказано в этом подразделе, основан один из самых знакомых и убедительных примеров движения — **«движущиеся картины»**.

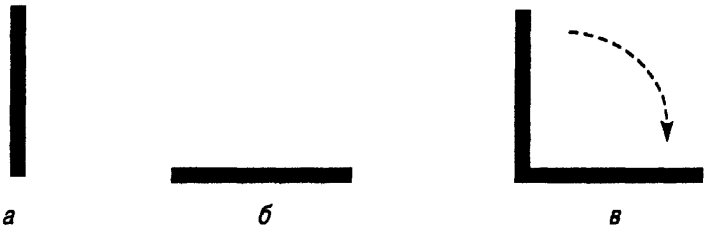

Рис. 8.13. Кажущееся движение на примере двух расположенных рядом неподвижных стимулов
Если всматриваться в изображение вертикальной линии *а*, за которой следует горизонтальная линия *б*, то примерно через 60 мс покажется, что вертикальная линия сместилась на 90° по часовой стрелке *в*.

Разумеется, сами картины не двигаются. Речь идет о кинематографе — о проецировании на экран быстро сменяющих друг друга кадров, на которых запечатлены очень незначительно отличающиеся друг от друга сцены. Каждый последующий кадр отличается от предыдущего небольшим изменением положения в пространстве движущегося объекта. Если эта последовательность неподвижных кадров проецируется на экран с надлежащей скоростью (обычно 24 кадра в секунду), возникает ощущение движения. Так же как и в случае стробоскопического движения, характер кажущегося движения, создаваемый движущимися картинами, зависит от скорости проецирования. Если скорость мала, видны только мелькания или — при совсем незначительной скорости — ряд отдельных кадров, если же скорость слишком велика — все кадры сливаются в расплывающееся пятно (история кинематографа, а также технология производства кинокартин и анализ их восприятия кратко описаны в Wead & Lellis, 1981, подробное и небезынтересное изложение этой проблемы читатель найдет в Hochberg, 1986).

Как уже было сказано при обсуждении таких явлений, как *эффекты маскировки* и *инерция зрения* (см. главу 4), реакция зрительной системы на визуальную стимуляцию продолжается еще какое-то время и после исчезновения вызвавшего ее раздражителя. В случае же киноленты, если ряд отдельных кадров демонстрируется с надлежащей скоростью, в нейронах, возбужденных предыдущим кадром, потенциалы действия продолжают возникать и после того, как на экране возник последующий кадр. А это значит, что изображение, запечатленное на каждом кадре, «сливается» с изображениями, запечатленными на предшествующем и следующем кадрах, что и производит впечатление непрерывного движения. Зрительная система интегрирует, или суммирует, ряд последовательных образов, создавая иллюзию непрерывной визуальной сцены или события. Ниже описано экспериментальное подтверждение феномена, называемого *кинетическим затуманиванием* и основанного на эффекте последействия.

Экспериментальное подтверждение

Кинетическое затуманивание

Подержите палец на расстоянии 10–12 дюймов от светящегося серого экрана телевизора или монитора компьютера и понаблюдайте за его непрерывным движением из стороны в сторону. Вы увидите даже немного пугающий поток расплывающихся изображений двигающегося пальца. Этот эффект практически не зависит от освещенности, но наиболее отчетливо он проявляется при низкой освещенности (которая благоприятствует зрительной стойкости).

Хотя *инерционность зрительной системы* (т. е. *эффект последействия*) важна для восприятия плавного, непрерывного движения из последовательно представляемых отдельных изображений, и прежде всего потому, что благодаря ей периоды затемнения между изображениями остаются незамеченными, не менее важен и другой фактор. Плавное объединение кадров достигается за счет близкого сходства их отличительных признаков и общности содержания. Чем теснее они связаны между собой и чем больше структурное сходство соседних кадров, тем выше их «феноменальная идентичность», т. е. тем легче зрительной системе объединить информацию, последовательно получаемую от физически дискретных (не связанных друг с другом) стимулов, таким образом, что мы воспринимаем, как непрерывное движение (Ramachandran et al., 1998).

Когда мы смотрим какой-либо отрывок из кинофильма — например, кадры, на которых изображен бегущий человек и между которыми сохраняется преемственность, — изменения в положении его рук, ног и всего тела от кадра к кадру проецируются на один и тот же участок сетчатки, то, что изображено на кадре, сохраняет свою кажущуюся связность и структурную общность. Перцептивный результат таков, что зрительная система интерпретирует эти последовательные, связанные друг с другом изменения как *движение*. Напротив, череда не похожих друг на друга, откровенно не совместимых друг с другом кадров способна дезориентировать зрительную систему. Хотя у нее и может быть опыт восприятия последовательности превращающихся друг в друга разных форм, возможность восприятия плавного, кажущегося движения снижается. Условия, способствующие проявлению подобного феномена, можно создать только в лаборатории, занимающейся изучением восприятия.

Эффект обратного вращения колеса. На практике свет, проецируемый на экран большинством современных кинопроекторов, между двумя кадрами несколько раз прерывается. Это объясняется тем, что даже скорость демонстрации киноленты, равная 24 кадрам в секунду, полностью не избавляет от мельканий. Чтобы избежать их, обычно каждый кадр показывают трижды. Это делается с помощью специального трехлопастного прерывателя, который каждый кадр проецирует на экран в виде трех проекций, что соответствует общей скорости, равной 72 проекциям в секунду. Старые домашние кинопроекторы демонстрируют фильмы со скоростью 16 кадров в секунду (общая скорость — 48 проекций в секунду), но поскольку эти проекции обычно демонстрируются при меньшей освещенности, они лучше сливаются, а тенденция к мельканию выражена слабее. Изображение, которое мы видим на телевизионном экране, основано на том же принципе слияния, но технически совершенно иное.

Именно в данном контексте уместно объяснить *эффект обратного вращения колеса,* который проявляется в том, что по спицам колес зрителю кажется, будто транспортные средства, которые в соответствии с происходящим на экране двигаются вперед, на самом деле едут назад. Некоторые авторы считают, что в данном случае нет никакой иллюзии движения (кроме, разумеется, восприятия движения колес, являющегося результатом последовательного представления самих кадров) (Christman, 1979; Fineman, 1981). Скорее речь может идти о *несоответствии* числа оборотов колеса в секунду и числом кадров, снятых за одну секунду. Если камера снимает 24 кадра в секунду, а колесо делает за одну секунду 23 оборота (или

количество оборотов, кратное 23), то каждый последующий кадр запечатлевает колесо чуточку *раньше,* чем оно успевает совершить полный оборот. Во время демонстрации фильма зрителю покажется, что колесо катится назад со скоростью, равной 1 оборот в секунду. Если бы скорости вращения колеса и проецирования фильма были бы равны (т. е. 24 оборота в секунду и 24 кадра в секунду соответственно), то колеса казались бы неподвижными. Если бы колеса вращались со скоростью 25 оборотов в секунду (или с любой другой скоростью, кратной 25), притом что фильм проецируется на экран со скоростью 24 кадра в секунду, зрителю казалось бы, что колеса катятся вперед со скоростью 1 оборот в секунду.

Резюмируя, можно сказать, что восприятие кинофильма на основании ряда дискретных, прерывистых изображений является результатом инерционности зрительной системы, а также распознавания общих отличительных признаков и последовательных изменений от кадра к кадру. Однако полного объяснения этого феномена у нас нет. Как писали Вид и Леллис: «Наука еще не в состоянии объяснить причину этой иллюзии [кинематографа]. Нам известно, что при определенных условиях мы склонны воспринимать дискретные объекты как непрерывные структуры, но пока что никто не знает, почему этот обман удается» (Wead & Lellis, 1981, p. 41).

Реальное движение/кажущееся движение. Как зрительная система обрабатывает информацию об изменениях в сетчатке, вызванных разнообразными формами кажущегося движения? Каковы способы обработки информации о кажущемся движении и отличаются ли они от способов обработки информации об изменениях, вызванных физически перемещающимися объектами? Ясно, что ни стробоскопическое движение, ни восприятие кинофильмов не приводят к таким изменениям сетчатки, к которым приводит наблюдение за реальным физическим движением. Как уже отмечалось выше, кинофильмы — это последовательность дискретных, быстро проецируемых на экран кадров, отделенных друг от друга чрезвычайно короткими периодами затемнения. Следовательно, исходя из сложности обработки информации, поступающей от различных компонентов подобной стимуляции, можно было бы ожидать, что физиологические механизмы, лежащие в основе восприятия реального и кажущегося движения, различны.

Однако эксперименты показали, что движение объектов, запечатленное на кинопленке, которую демонстрируют надлежащим образом, кажется таким же непрерывным, как и движение реальных объектов. Следовательно, можно принять, что в основе восприятия многих форм кажущегося движения лежит тот же самый механизм детектирования движения, что и в основе восприятия реального движения (Clatworthy & Frisby, 1973). Если говорить конкретно о стробоскопическом движении, то оно может быть результатом функционирования некой системы, участвующей в восприятии некоторых видов быстро сменяющих друг друга реальных движений. Уоллс, сторонник ярко выраженного эволюционного подхода, так сформулировал свою оригинальную и даже несколько эксцентричную точку зрения на сходство реального и кажущегося движения:

> Реальное и стробоскопическое движение субъективно сходны, но это сходство обманчиво... Возможно, это не простое совпадение, ибо можно предположить, что очень похожая имитация кажущимся движением реального движения при тех же простран-

ственных и временных условиях и при том же освещении имеет некоторую биологическую ценность. Какую именно, мы сказать не можем. Автор готов рискнуть и предположить, — очень осторожно! — что, возможно, когда примитивное, глупое позвоночное видело движущийся объект, который сперва скрывался за какой-то преградой, а потом появлялся вновь, оно до тех пор не могло с уверенностью сказать, один это объект или два, пока в его распоряжении не появились автоматические средства определения «единственности» объекта в то время, пока он был спрятан от него. Какой бы ни была причина эволюции процесса домысливания изображения в фи-феномен, трудно сказать, какую пользу его сохранение принесло нам... если, конечно, не считать кино жизненной необходимостью (Walls, 1963, p. 362).

Автокинетическое движение

Ощутить движение можно, если, находясь в абсолютно темной комнате, сосредоточить взгляд на светящейся точке. В этих условиях у наблюдателя нет ни пространственного фона, ни каких-либо фиксированных зрительных координат, с которыми можно было бы соотнести эту светящуюся точку. В результате единственная стационарная светящаяся точка начинает «дрейфовать», и это явление называется **автокинетическим движением**. Как правило, светящаяся точка лишь ненамного отклоняется от своего положения, однако нередко совершает и весьма заметное движение. В том, что касается масштаба и направления автокинетического движения, индивидуальные различия наблюдателей очень велики и на восприятие этого явления заметно влияет их социальный статус (Sherif, 1936).

Предложено несколько механизмов, объясняющих возникновение автокинетического движения и основанных преимущественно на роли непроизвольных движений глаз (Mack, 1986; Post & Leibowitz, 1985). Заслуживающее внимание объяснение автокинетического феномена предложено Грегори (Gregory, 1973). Его теория, иногда называемая *теорией утомленных глазных мышц*, основана на изменяющейся способности глазных мышц поддерживать фиксацию глаза на неподвижной светящейся точке. В ходе продолжительной фиксации микродвижения глаз вызывают флуктуации фиксации, и в результате длительной фиксации глазные мышцы «устают». Чтобы компенсировать усталость и возрастающие усилия, необходимые для поддержания фиксации на светящейся точке, глазным мышцам требуются *необычные командные сигналы, корригирующие командные сигналы*. По своей сути эти корригирующие сигналы — то же самое, что и эфферентные сигналы, приводящие в движение глаза, совершающие следящие движения во время наблюдения за перемещающимся стимулом. Однако поскольку эти сигналы полностью лишены каких-либо признаков визуального фона, они превратно толкуются как сигналы к движению глаз. Следовательно, по Грегори, причиной движения светящейся точки в темноте являются не движения глаз, а корригирующие сигналы, призванные *предотвратить* их.

Эффект последействия движения

Пассажиру только что остановившегося поезда, до этого долго смотревшему в окно, кажется, что теперь уже неподвижный пейзаж движется вперед, и это ощущение настолько реально, словно поезд медленно катится назад. Это пример **эффекта последействия движения (ЭПД)**, суть которого заключается в том, что восприя-

тие движения может продолжаться и после прекращения воздействия движущегося раздражителя. Точно так же и неподвижная сцена покажется движущейся вверх, если до этого долго смотреть на падающую воду (на водопад). Это пример особого эффекта последействия движения, описанного в 1834 г. Аддамсом (Addams, 1834) и в 1882 г. Баудитчем и Холлом (Bowditch & Hall, 1882) и называемого *иллюзией водопада* (подробное описание этого эффекта см. в Fineman, 1981). Одно их первых приспособлений, предназначенных для демонстрации иллюзии водопада, представлено на рис. 8.14.

Как будет понятно из описанного ниже экспериментального подтверждения, ЭПД можно легко продемонстрировать с помощью компьютера.

Экспериментальное подтверждение

Эффект последействия движения

Вам понадобится компьютер, содержащий достаточно длинный текст, набранный чрез два, а еще лучше – через три интервала. Глядя на центр монитора, «гоните» текст вниз с постоянной скоростью, не читая его. Секунд через 90, когда вы остановите текст, вам покажется, что неподвижный монитор перемещается вверх. Иллюзия движения вверх – это *эффект последействия движения*, вызванный тем, что вы до этого наблюдали за движением вниз.

Если у вас нет доступа к компьютеру, сделайте следующее. Глядя на центр телевизионного экрана, проследите за движением по нему заключительных титров фильма, не читая их. Когда титры пройдут, вам покажется, что экран движется вниз.

ЭПД несколько иного характера, отчасти вызванный определенным ритмом непроизвольных движений глаз во время фиксации взгляда, может быть продемонстрирован с помощью геометрического узора, представленного на рис. 8.15.

Нейронные процессы, лежащие в основе ЭПД. Общий подход к трактовке ЭПД базируется на представлениях об *эффектах последействия* и *селективной*

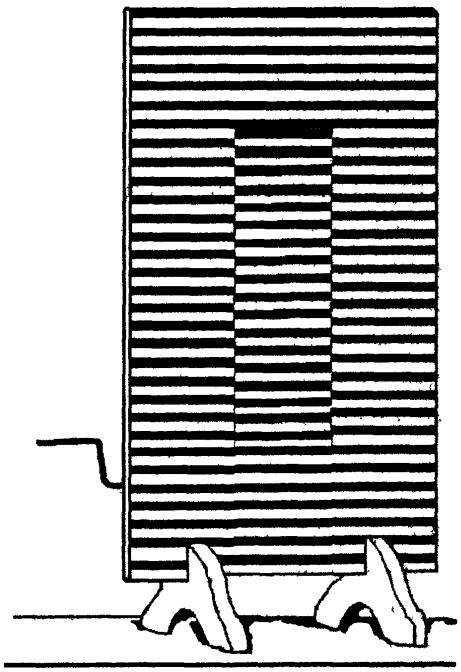

Рис. 8.14. Одно из первых приспособлений, предназначенных для демонстрации иллюзии водопада

С помощью ручки полосатый ремень приводится в движение (вверх или вниз), и испытуемые через специальное отверстие наблюдают за ним. После того как ремень останавливается, испытуемый, глядя на фон или на какую-либо другую поверхность, продолжает видеть движение, но в обратную сторону. (Авторство этого приспособления обычно приписывается Боудичу и Холлу (*Источник*: Bowditch & Hall, 1882), однако Боринг высказывает предположение о том, что нечто подобное, возможно, было создано раньше, Уильямом Джеймсом (*Источник*: Boring, 1942))

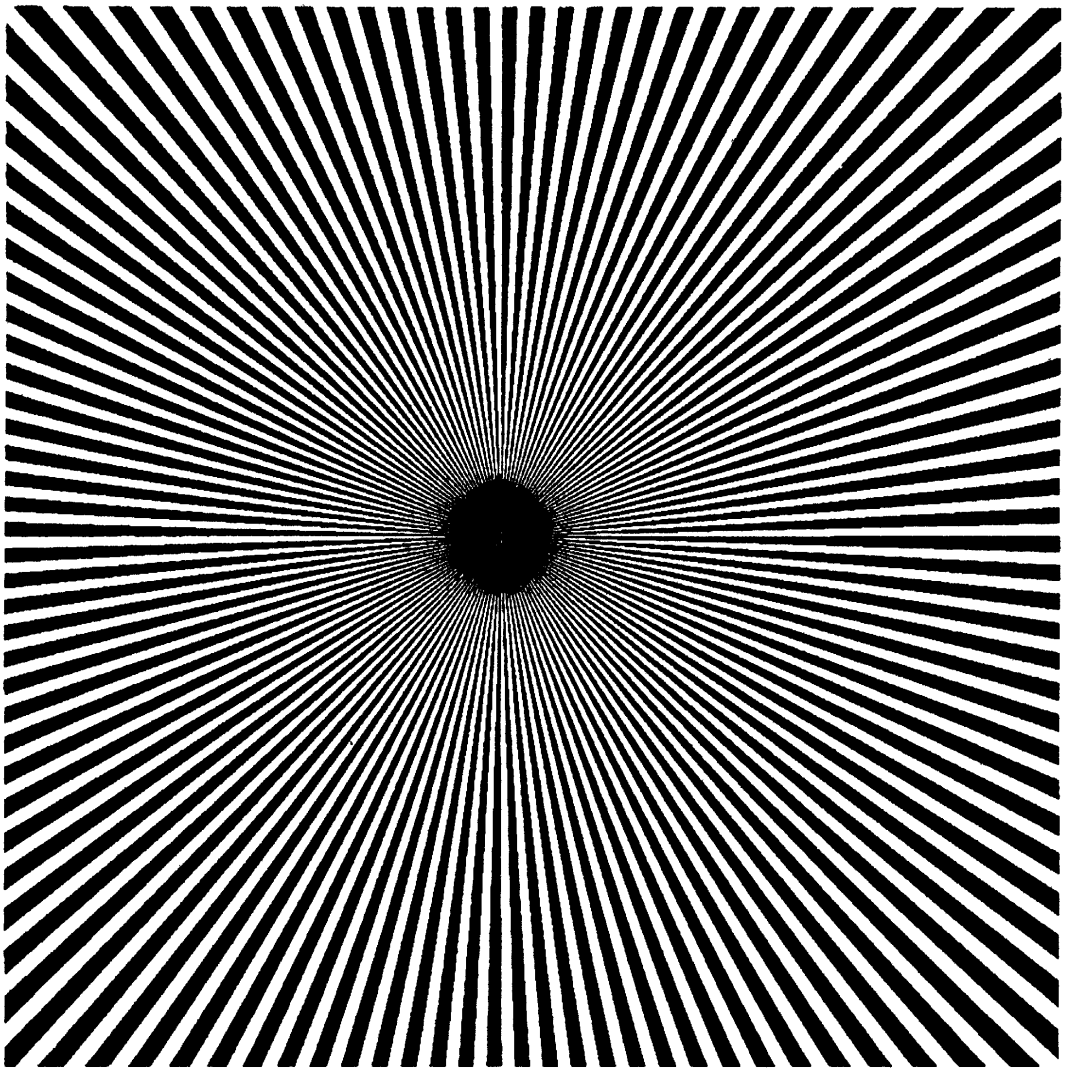

Рис. 8.15. Пример геометрического узора, вызывающий эффект последействия, в котором может восприниматься движение

Если в течение примерно 20 секунд пристально всматриваться в центр узора, а затем «спроецировать последействие» на лист белой бумаги, обычно появляется ощущение вращательного движения. (*Источник:* D. M. MacKay. Ways of looking at perception. W. Wathen-Dunn (Ed.). *Models for the perception of visual form.* Cambridge, Mass: MIT Press, 1967)

адаптации (см главы 4, 5 и 7). Не вдаваясь в детали, можно сказать, что причиной ЭПД являются селективная адаптация и уставание чувствительных к восприятию движения детекторов, характерные для человека, воспринимающего движение какого-либо объекта. Рассматривание «водопада» или прокручивание текста (см. вышеописанные экспериментальные подтверждения), т. е. восприятие в течение какого-то периода времени только движения *вниз*, приводит к тому, что детекторы, чувствительные к движению такого типа, утомляются, или адаптируются, в результате чего становятся менее активными. Поэтому, когда человек, наблюдавший за движением вниз, переводит свой взгляд на неподвижную композицию, чувствительность его рецепторов, воспринимающих движение вниз, оказывается пониженной и ему кажется, что и неподвижная композиция, и ее элементы перемещаются вверх.

На каком уровне зрительной системы находятся рецепторы, обеспечивающие ЭПД? Сегодня у нас нет определенного ответа на этот вопрос, однако варьирование условий, при которых они возникают, дает возможность высказать некоторые предположения. Например, если эти рецепторы лежат на уровне сетчатки, то адаптация к действию движущегося стимула только одного глаза должна привести к тому, что второй, неадаптированный глаз *не почувствует* ЭПД. Иными словами, если происхождение ЭПД связано с функционированием сетчатки, адаптация одного глаза не должна повлиять на состояние другого. Однако когда такой эксперимент был проведен, оказалось, что неадаптированный глаз тоже ощущает ЭПД, что свидетельствует в пользу центрального, или кортикального, происхождения этого феномена (Nitchell, Reardon & Muir, 1975; Mitchell & Ware, 1974; Murakami & Cavanagh, 1998. Фундаментальный обзор литературы, посвященной ЭПД, читатель найдет в Mather et al., 1998).

Прогнозирование траектории движения

Заключительный раздел главы посвящен преимущественно не восприятию движения объектов, а *прогнозированию* траекторий их движения. Этот вопрос вполне заслуживает краткого обсуждения, поскольку некоторые объяснения движения объектов по определенным траекториям получены на основании такого явления общего характера, как восприятие движения, рассмотрению которого была посвящена эта глава. Поскольку большинство людей постоянно имеют дело с динамическими событиями, происходящими в окружающем мире, и в первую очередь — с движущимися объектами, можно было бы предположить, что им уже знакомы некоторые базовые принципы и законы физики и понятна предсказуемость траекторий движения объектов. Между тем в том, что касается движения объектов даже, казалось бы, в простых условиях, все еще немало заблуждений, а нередко и ошибочных представлений. Приведены результаты экспериментов (McCloskey, Carramazza & Green, 1980; см. также: Kaiser, Proffitt & McCloskey, 1985), проведенных для оценки способности испытуемых точно предсказать траекторию движения объектов на основании решения таких простых физических задач, как две первые задачи, представленные на рис. 8.16.

Когда испытуемых, преимущественно студентов колледжа, из которых 70 % как минимум изучали физику в средней школе, спросили о **траектории движения** предмета, выпущенного из изогнутой трубы, на удивление многочисленная группа оказалась не готовой дать точный ответ. Они отвечали, что выпущенный из изогнутой трубы предмет будет продолжать двигаться по кривой даже в отсутствие внешнего воздействия. Более того, увеличение числа неправильных ответов при переходе от задачи 1 к задаче 2 позволяет предположить, что, по мнению большинства испытуемых, кривизна траектории движения объекта зависит от времени его пребывания в трубе, и чем это время больше, тем более изогнутой будет и траектория. Правильный ответ на обе задачи непосредственно вытекает из *закона инерции, или первого закона Ньютона: движение тела изменяется только под воздействием приложенного к нему внешнего усилия. Если тело находится в покое, оно будет оставаться в покое. Если оно находится в движении, оно будет продолжать двигаться с постоянной скоростью до тех пор, пока к нему не будет приложено внешнее усилие.*

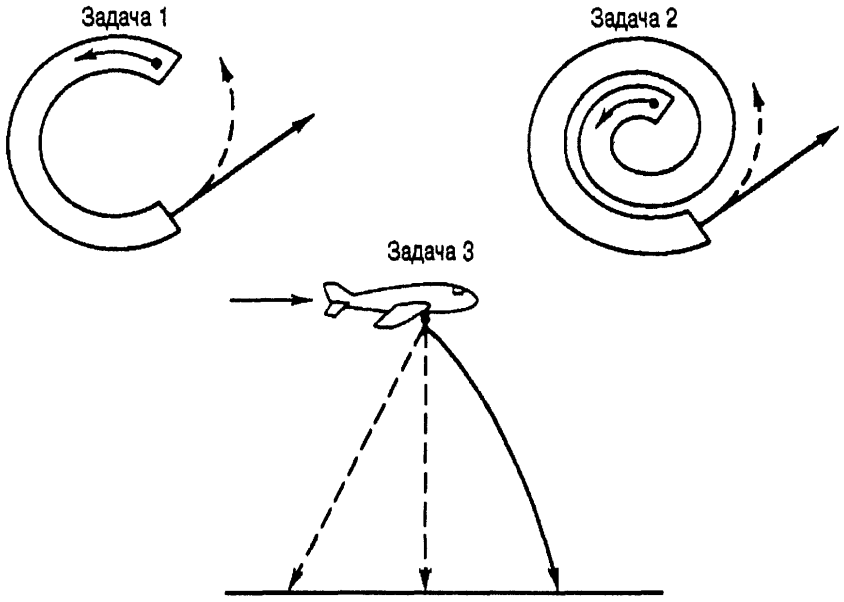

Рис. 8.16. Прогнозирование траектории движения объектов. Правильное решение задач (сплошные стрелки) и наиболее распространенные ошибки (пунктирные стрелки). (*Источники:* McCloskey, 1983a; Kaiser, Proffitt & McCloskey, 1985; McCloskey, Caramazza & Green, 1980)

В ходе бесед, проведенных с испытуемыми после эксперимента, выяснилось, что причина неправильных ответов — не зрительные искажения или перцептивная предвзятость, а исключительно их наивные представления о движении. Основное заблуждение участников эксперимента базировалось на вере в то, что предмет, который «заставили» двигаться в изогнутой трубе, приобретает «момент движения», или импульс, «заставляющий» его продолжать криволинейное движение и после выхода из трубы даже тогда, когда он не испытывает никакого внешнего воздействия. А это значит, что траектория движения станет прямолинейной только после того, как постепенно «израсходуется» импульс. Мак-Клоски считает источником этих наивных представлений о движении, которые полностью соответствуют представлениям классической физики, доньютоновскую теорию импетуса («первотолчка»), господствовавшую в Средние века (McCloskey, 1983a). Согласно этой теории, приведенный в движение объект приобретает силу, или импульс, который и поддерживает его движение. Этот импульс постепенно истощается, что вызывает сначала замедление движения, а затем и полную остановку объекта

Дополнительные доказательства того, что неверные ответы явились результатом наивных представлений, а не проблем перцептивного характера, основаны на следующем: испытуемые *узнавали* правильные траектории движения объектов, когда ситуации, аналогичные описанным в задачах 1 и 2 (рис. 8.16), были предъявлены им в видеозаписи (Kaiser, Proffitt & Anderson, 1985). Когда испытуемым показывали разные, прямолинейные и криволинейные, траектории движения мяча, выпущенного из изогнутой трубы, практически все выбрали правильную траекторию. Как наиболее естественный путь они воспринимали правильную прямолинейную траекторию, а не ошибочную, криволинейную, которую нередко предсказывали на основании стационарных репрезентаций

Известны также и неверные прогнозы относительно падающих объектов, которые могут быть основаны на перцептивных процессах. Задача 3 на рис. 8.16 касается самолета, летящего на определенной высоте с постоянной скоростью и сбрасывающего на землю какой-то предмет. Нужно определить траекторию полета этого предмета с момента его отделения от самолета до приземления. На рисунке представлены и правильный ответ, и два наиболее распространенных ошибочных ответа. Правильный ответ таков: падая по параболической траектории, объект будет продолжать двигаться вперед. Одно из объяснений наиболее распространенных ошибок заключается в зрительной иллюзии, основанной на многочисленных наблюдениях над объектами, падающими из движущихся предметов по прямой. (McCloskey, 1983a, 1983b; Kaiser et al., 1985; McCloskey, Washburn & Felch, 1983). Когда человек на бегу или на ходу роняет что-либо, он сам играет роль системы координат, относительно которой воспринимается упавший предмет (это явление тесно связано с описанным выше *индуцированным* движением и имеет отношение к явлению, представленному на рис. 8.9). Иными словами, падение предмета воспринимается на фоне подвижной системы координат — идущего или бегущего человека. Поэтому движение объекта *относительно* движущегося фона может быть ошибочно воспринято как движение относительно стационарного фона и интерпретировано вследствие этого как его, объекта, абсолютное движение. Мы видим, что предмет, который уронил идущий человек, падает прямо вниз *относительно идущего человека,* и можем ошибочно решить, что траектория падения этого предмета — прямая линия. Как правило, неверные суждения о траекториях движения уроненных или сброшенных предметов возникают в результате многократных наблюдений за перемещением объектов относительно двигающейся (подвижной) системы координат (Kaiser et al., 1985).

Выводы

В этой главе мы рассказали о восприятии различных форм реального и кажущегося движения. В восприятии реального движения участвуют две независимые друг от друга системы: «изображение–сетчатка» и «глаз–голова». Мы также рассказали о роли «утечки сигналов», или упреждающих сигналов во время произвольных движений глаз для системы «глаз–голова». Обсуждая эти вопросы, мы обратили основное внимание на перцептивное различие между изменениями ретинального изображения, вызванными физическим, реальным движением окружающих объектов, и изменениями, причиной которых являются произвольные движения глаз.

Мы описали восприятие движения, являющееся результатом оптической стимуляции нескольких типов, единственное в своем роде восприятие биологического движения человека и информацию, которую оно в себе несет. Были также обсуждены разные формы искажения восприятия физического движения: кинетический эффект глубины, анортоскопическое восприятие, индуцированное движение и стереоэффект Пульфриха.

Затем мы рассмотрели кажущееся движение — восприятие движения в отсутствие физического движения, обратив основное внимание на стробоскопическое движение. Мы рассмотрели связь стробоскопического движения с движением,

запечатленным на кинопленке, и объяснили восприятие кинофильмов с позиций инерционности зрительной системы и распознавания последовательности изменений отличительных признаков, переходящих из кадра в кадр. В этом контексте было дано объяснение эффекта обратного вращения колеса. Нами была также рассмотрена и еще одна форма восприятия кажущегося движения, автокинетический эффект, возникающий при восприятии пространственного контекста с двойственными признаками глубины, и эффекты последействия, возникающие в результате восприятия некоторых форм движения.

Заключительный раздел главы посвящен преимущественно прогнозированию возможных траекторий физического движения. Неправильное прогнозирование одних траекторий является результатом ложных представлений о природе физического движения, а неправильное прогнозирование других — следствием субъективного восприятия движения — зрительной иллюзии, причиной которой, скорее всего, является индуцированное движение.

Ключевые слова

Автокинетическое движение
Акинетопсия
Анортоскопическое восприятие
Афферентные сигналы
Биологическое движение
Индуцированное движение
Кажущееся движение
Кинематограф (движущиеся картины)
Кинетический эффект глубины
Паттерны оптического потока
Сетчаточная экспансия
Система восприятия движения «глаз—голова»
Система восприятия движения «изображение—сетчатка»
Стереоэффект Пульфриха
Стробоскопическое бета-движение
Теория упреждения сигнала
Траектория движения
Упреждающий сигнал (утечка сигнала)
Центральный блок сравнения сигналов
Эффект последействия движения (ЭПД)
Эфферентный сигнал