

БИБЛИОТЕКА ФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ИМ. А.Г. СТОЛЕТОВА
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

С.Б. РЫЖИКОВ, Ю.В. РЫЖИКОВА

ЗАГАДОЧНЫЕ И УДИВИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБНОСТИ ЗРЕНИЯ

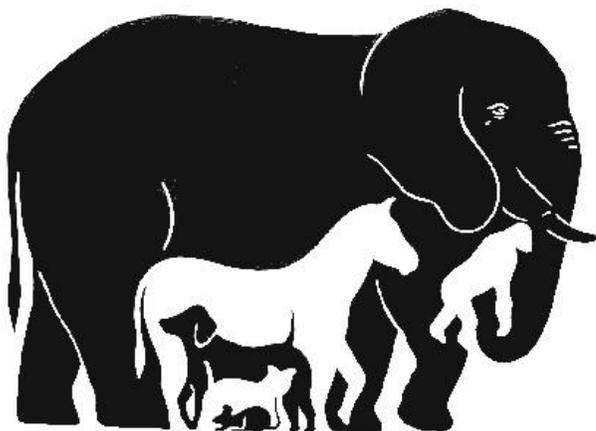


БИБЛИОТЕКА ФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ИМ. А.Г. СТОЛЕТОВА
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



С.Б. Рыжиков, Ю.В. Рыжикова

ЗАГАДОЧНЫЕ И УДИВИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБНОСТИ ЗРЕНИЯ



МОСКВА



2018

УДК 535.6 374
ББК 22.34 28.70
Р 93

Р 93 Загадочные и удивительные способности зрения. –
М.: ООО «Делу время», 2018. – 174 с.

Рыжиков С.Б., Рыжикова Ю.В. Загадочные и удивительные способности зрения. Учебное пособие. – М.: ООО «Делу время», 174 с.

Рецензенты:

Короленко П.В. – д.ф.-м.н., профессор (МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет);

Богоявленская М.Е. – к.пс.н., зав. лаб. (ФГБНУ «Институт изучения детства, семьи и воспитания Российской академии образования»)

В книге простым и доступным для школьников языком рассказывается об устройстве зрения человека, как о его удивительных способностях, так и о ещё неразгаданных загадках. Большое внимание уделяется оптическим иллюзиям – раскрываются причины их появления и обосновывается тезис, что оптические иллюзии – это не недостаток зрения, а следствие его уникальных возможностей, которые помогли человеку выжить в прошлом и весьма полезны в настоящем. Книга адресована детям среднего и старшего школьного возраста, учителям и всем интересующимся проблемами зрительного восприятия.

ISBN

© Рыжиков С.Б., Рыжикова Ю.В., 2018

© АНО «Физическое общество им. А.Г. Столетова»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Часть 1. Видение объёмного мира	
1. Квадрат, ромб или куб?.....	8
2. Иллюзия «невозможных» фигур.....	14
3. Строение глаза.....	24
4. Иллюзия перевёрнутого мира.....	25
5. Большой и маленький.....	26
6. Эффект перспективы.....	28
7. Комната Эймса.....	35
8. Иллюзия Луны.....	36
9. Иллюзия иррадиации.....	38
10. Иллюзия окружения – изменения размеров.....	41
11. Иллюзия стрелок.....	44
12. Иллюзия вертикали.....	48
13. Иллюзия окружения – сдвиг линии.....	52
14. Иллюзия штриховки.....	54
15. Иллюзия «стена кафе» (Cafe Wall).....	59
16. Иллюзия колец.....	62
17. Иллюзия дуг окружностей.....	64
18. Иллюзия площадей.....	64
19. Иллюзия «слепого пятна».....	66
20. Бинокулярное зрение.....	68
21. Стереokino.....	73
Часть 2. Распознавание образов	
22. Точка, точка, запятая.....	77
23. Иллюзия полос Маха.....	81
24. Рассмотрите всё хорошенько.....	83
25. Запомни лицо своей мамы.....	84
26. Зрительные образы цыплят.....	87
27. Эффект следящих глаз.....	88
28. Иллюзия несуществующих фигур.....	89
29. Иллюзия двойных образов.....	92

30. Иллюзия знакомых объектов.....	96
31. Загадка Джоконды.....	99
32. Цветное зрение.....	100
33. Цвет и свет.....	101
34. «Палочки» и «колбочки».....	102
35. Дополнительные цвета.....	106
36. Иллюзия контраста.....	110
37. Иллюзия оттенков цвета.....	113
38. Эффект Пуркинье.....	114

Часть 3. Подвижный в подвижном

39. Иллюзия мультипликации.....	116
40. Иллюзия направления движения.....	118
41. Признаки движения.....	119
42. Движения глаз.....	123
43. Иллюзии последствий.....	128
44. Иллюзия Аристотеля.....	130
45. Загадочные движения неподвижных фигур.....	131
46. Способность предвидения.....	137
Заключение.....	141
Приложение.....	142

ПРЕДИСЛОВИЕ

Из всех органов чувств человека глаз всегда признавался наилучшим даром и чудеснейшим произведением творческой силы природы.

Герман Гельмгольц

(немецкий физик и врач)

В одной восточной притче рассказывается о трёх слепцах, которым предложили узнать, что такое слон. Один подошёл к ноге слона, второй взял слона за хобот, а третий – за хвост.

– Слон – это огромная колонна, – сказал первый.

– Нет, слон подобен огромной гибкой змее, – возразил второй.

– Вы ошибаетесь, слон – это просто кусок веревки, – заключил третий.

Наше зрение полно чудес и загадок. Чтобы в них разобраться, нужны знания многих наук: математики, физики, биологии, медицины, психологии... Смотрим мы, конечно, глазами, но воспринимаем полученную информацию мозгом. В течение длительного времени физиологи исследовали, в основном, как изображение предметов формируется на сетчатке глаза, а психологи изучали зрительное восприятие, не вдаваясь в то, как оно возникло. Лишь в последние десятилетия учёные начали проникать в процессы, происходящие в мозгу человека. Чем больше мы узнаём о зрении, тем более удивительным и загадочным оно представляется.

В этой книге мы постараемся рассказать об успехах науки в изучении зрения, и о тех загадках, которые ещё предстоит разгадать.

Большую часть информации об окружающем мире мы получаем

с помощью зрения. Своим глазам мы доверяем больше, чем тому, что узнаём от других, ведь нам часто приходится слышать, мягко говоря, недостоверную информацию. Недаром говорят, что лучше один раз увидеть, чем семь раз услышать. Но всегда ли можно доверять тому, что мы видим?

Посмотрите на рисунки. Скорее всего, Вы увидите на первом рисунке несколько неровных, чуть сходящихся линий, а на втором – уходящая вдаль спираль. Но вооружитесь циркулем и линейкой – и Вы обнаружите, что линии прямые, причём параллельны друг другу, а на втором рисунке не спираль, а множество окружностей.

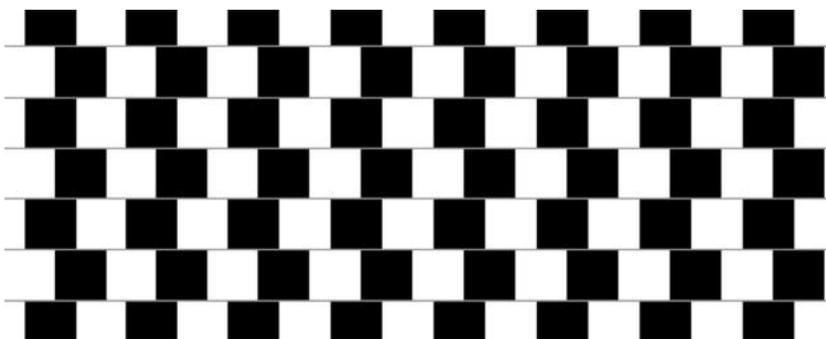


Рис. 1. Иллюзия параллельных линий (кафе Wall)

Это – зрительные иллюзии. Слово «иллюзия» происходит от латинского *illusio* – заблуждение, обман. Зрительной или оптической иллюзией называют неправильное восприятие окружающего мира.

В течение длительного времени считалось, что иллюзии – это обидные недостатки нашего зрения. Но неужели наше зрение так несовершенно?

Авторы уверены в обратном.

На самом деле, очень даже хорошо, что мы видим не то, что принято считать правильным!

Наше зрение обладает удивительными способностями, которые

помогли (и помогают) человеку выжить в экстремальных условиях. А неправильно распознанные формы линий – это побочный эффект этих удивительных способностей нашего зрения, которые не мешают нам жить, разве что оставляют легкую досаду, что мы чуть ошиблись. Авторы надеются, что и эта досада пройдет после прочтения этой книги.

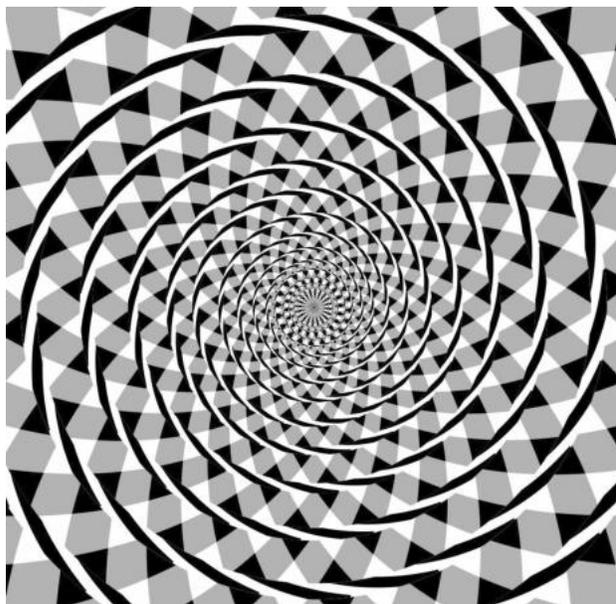


Рис. 2. Иллюзия Фрейзера

ЧАСТЬ 1

ВИДЕНИЕ ОБЪЁМНОГО МИРА

Если на клетке слона прочтёшь надпись
«буйвол», не верь глазам своим.

Козьма Прутков

1. КВАДРАТ, РОМБ ИЛИ КУБ?

Помните ли Вы, как исследовали мир, когда были ещё совсем маленькими?

Одно из немногих воспоминаний, которое осталось у автора о детском садике – это ошибка в распознавании фигур.

Дело было в старшей группе – нас готовили к школе, и мы учились отличать простые фигуры. Нам объяснили, что такое квадрат и предложили определить, являются ли нарисованные фигуры квадратами (см. цв. рис. 3¹). Первые две фигуры – квадраты. Дети, которых спросили про эти фигуры, ответили правильно. Третьим вызвали меня. Я был совершенно уверен, что третья фигура – это квадрат, который только чуть наклонился назад. К моему великому удивлению и огорчению воспитательница сказала, что я невнимателен, что это не квадрат, а ромб.

Спорить с воспитательницами было не принято. Но внутренне я был уверен, что это действительно квадрат, который наклонился назад. Иллюзия усиливалась тем, что книжки у нас не лежали на столах, а стояли на подставках для книг, примерно под углом 60° к плоскости стола. Только к концу занятия я, наконец, увидел не наклонившийся квадрат, а ромб. Но это произошло после того, как на следующем рисунке (см. цв. рис. 4) я увидел прямой ромб, а потом ромб, повернутый в плоскости рисунка.

¹ Здесь и далее цветные рисунки вынесены на наклейки в конце книги.

Почему же произошла ошибка? Дело в том, что наше зрение рассчитано на то, чтобы видеть мир объёмным, или, как говорят, в 3-х мерном (по-английски, 3D) измерении: высота, ширина, глубина.

Но рисунок плоский – 2-х мерный (по-английски 2D) – на нём только два измерения: высота и ширина. Как же художникам удаётся передать на картинах глубину? Только благодаря чудесному свойству нашего зрения видеть глубину там, где её нет. Если бы наше зрение нас не обманывало, мы могли видеть на плоских листах бумаги только плоские фигуры. Когда мы смотрим на рисунок, наш мозг невольно, автоматически, или, как говорят психологи, подсознательно, пытается представить объёмные фигуры.

Посмотрите на рис. 5. Что на нём изображено? Скорее всего, Вы увидите кубик, хотя на нём изображены просто 12 отрезков. Но наш мозг призван ориентироваться не в плоском, а в объёмном мире, и потому он без устали пытается увидеть объёмные фигуры в плоских рисунках.

Если бы художник нарисовал вертикально стоящий квадрат, а затем захотел бы нарисовать наклонённый квадрат, то он изобразил бы его как раз, как на рис. 3 (справа). Глаз автоматически представляет глубину в рисунке, ребёнок в 5-летнем возрасте не прикладывает усилий, чтобы увидеть на рис. 3 (справа) наклонённый квадрат. Скорее, нужно приложить определённые усилия, чтобы увидеть на месте наклонённого квадрата ромб.

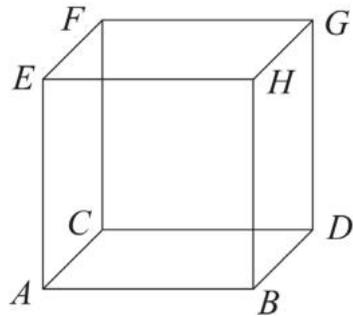


Рис. 5.
Кубик или 12 отрезков?

Наш мозг очень точно понимает, как должны выглядеть объёмные фигуры. Попробуйте нарисовать шары, цилиндры. Вы обнаружите, насколько сложно нарисовать фигуры, чтобы они не казались какими-то кривобокими.

Когда художник рисует картину, он прикладывает определённые усилия, чтобы придать изображению глубину. Но картина всё равно выглядела бы плоской, если бы наш мозг не пытался представить её объёмной. И плоскую картину, и плоскую фотографию наш мозг упорно пытается представить объёмной. Поэтому наш мозг можно обмануть.

Посмотрите на фотографию (см. цв. рис. 6). Кажется, что два человека (автор с ребёнком) стоят на странном мосту, высоко над городом. Впрочем, иллюзия возникает только при взгляде с определённой стороны. Если посмотреть с другой стороны, иллюзия пропадёт – мы отчётливо увидим, что на самом деле город нарисован на стене и немного на полу (см. цв. рис. 7). Присмотревшись, на цв. рис. 6 можно заметить на мосту темную полосу в том месте, где пол переходит в стену, что демонстрирует, насколько сложно выдать рисунок за реальность.

Тем не менее, когда идёт речь не о фото со многими объектами, цветами, тенями и пр., а о простых геометрических фигурах, наш мозг можно поставить в затруднительное положение. Его постоянное стремление представлять фигуры объёмными приводит к иллюзиям.

Вернёмся к кубику на рис. 5. Эти 12 отрезков на плоском листе можно представить в виде объёмного кубика двумя способами, как показано на рис. 8.

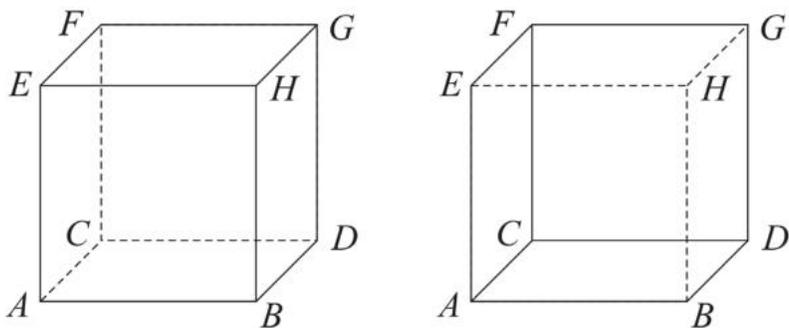


Рис. 8. Кубик Неккера (1832)

Слева изображен куб, на который мы смотрим как бы сверху вниз, пунктиром обозначены рёбра на заднем плане. Точка H является ближней к нам вершиной куба, а вершина C – дальней. Но возможно и другое видение того же куба. Можно представить, что мы смотрим на куб снизу. В этом случае точка H является уже дальней к нам вершиной куба, а на переднем плане будет вершина C . Рёбра, которые были на переднем плане, уйдут на задний (обозначены пунктиром).

Посмотрев снова на кубик на рис. 5, мы будем поочередно видеть то одно, то другое положение куба. Разумеется, увидеть эти два положения одновременно невозможно.

Бессмысленно спрашивать как же кубик на рис. 5 расположен *на самом деле*? *На самом деле* на рис. 5 только 12 отрезков. А уже наш мозг пытается превратить эти отрезки в объёмный куб и у него это получается с переменным успехом.

Обидно ли, что наш мозг не может однозначно определить положение кубика? Было бы намного обиднее, если бы он вообще не стал бы представлять объёмный кубик, и мы видели бы только плоский мир. Так что лучше порадуемся, что наш мозг ежедневно, ежесекундно пытается превратить плоские картины в объёмные фигуры. А двоякость толкования возможного представления положения фигуры – всего лишь побочный эффект удивительной способности нашего мозга представлять глубину плоского изображения. Наш мозг был поставлен в искусственные условия, далёкие от тех, которые ему встречаются в повседневной жизни. Двенадцать отрезков дают слишком мало информации о предмете. В реальном мире наш мозг, скорее всего, разобрался бы, как расположен кубик – по освещенности, наличию теней и пр.

Первым заметил неоднозначность толкования положения кубика швейцарский физик – кристаллограф Луис Неккер (*Louis Necker*, 1786 – 1861) в 1832 г.

На основе кубика Неккера созданы другие фигуры с неоднозначным положением. Например, на цв. рис. 9 нарисованы 8 черных, 8 синих и 8 голубых ромбов. Взглянув на рисунок, Вы можете увидеть

шесть кубиков с верхними чёрными гранями, направленными вверх и голубыми и синими гранями, направленными чуть вниз. Но через некоторое время Вы вдруг увидите, что кубиков стало семь, и теперь чёрные грани смотрят вниз, а синие и голубые – вверх и в стороны.

Ещё одна фигура представлена на цв. рис. 10. Как Вы думаете: это лестница, гармошка или ниша в стене? Присмотревшись, мы будем видеть, то лестницу, то гармошку, то нишу. Что же это на самом деле? – спросите Вы. Но на самом деле – это все лишь отрезки, расположенные на плоском листе бумаги. Если бы художник хотел бы изобразить гармонь или нишу в стене, то он изобразил бы их как показано на цв. рис. 10. Поэтому в зависимости от настроения наш мозг представляет то нишу, то гармонь, не в состоянии остановиться на чём-то одном. Можно приложить некоторые усилия и представить, что на листе бумаги изображена не объемная фигура, а лишь несколько соединённых параллелограммов и многоугольников.

Подобная неоднозначность объёмного представления есть не только у кубиков. На рис. 11 изображены два овала и соединяющие их отрезки. Ваш мозг попытается увидеть объёмную фигуру. Поэтому Вы без труда узнаете цилиндр.

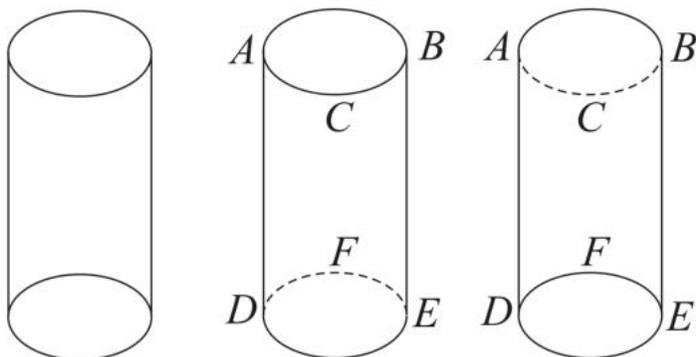
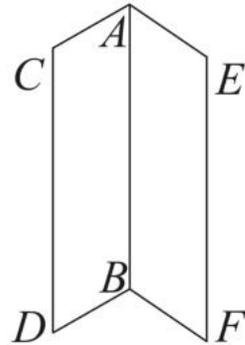


Рис. 11. Как направлен цилиндр?

Но как цилиндр направлен? Мы можем представить, что смотрим на цилиндр чуть сверху (рис. 11, в центре). Ближайшая к нам дуга ACB , а дальняя – DFE . Если перед нами не проволочный каркас,

а сплошной непрозрачный цилиндр, то дуга DFE не будет видна (рис. 11, в центре, изображена пунктиром). Но можно также представить, что мы смотрим на цилиндр снизу (рис. 11, справа). В этом случае ближайшая к нам дуга DFE , а дальняя – ACB . Цилиндр будет казаться наклонённым от нас. Если цилиндр непрозрачный, то дуга ACB не будет видна (рис. 11, справа, изображена пунктиром).



*Рис. 12.
Как расположен
двухгранный угол?*

Мы можем поочередно видеть то одно, то другое положение цилиндра, но не сможем увидеть их одновременно. Бесполезно спрашивать, как цилиндр расположен на самом деле. На самом деле, на рисунке только два овала и два отрезка, а уже наш мозг как смог представил их в виде объёмной фигуры.

Даже простой двухгранный угол является неоднозначной фигурой (рис. 12). Здесь всего семь прямых отрезков. Так выглядит лист бумаги, если согнуть его пополам вдоль линии AB . Вот только где находится ребро AB ? Оно ближе ребра CD или дальше? Если мы смотрим на фигуру чуть сверху, то ребро AB дальше ребра CD . При этом кажется, что согнутый лист стоит на горизонтальной плоскости. Но если долго вглядываться в рисунок, то мы можем увидеть, что лист наклонён от нас, и ребро AB ближе ребра CD . Мы будем поочередно видеть то одно, то другое изображение, но оба изображения сразу увидеть нельзя.

Подобные примеры можно продолжать. Не стоит расстраиваться, что наш мозг не смог однозначно построить объёмное изображение. Лучше порадуемся способности нашего мозга стремиться представить мир объёмным. Если бы не это, то мы увидели бы не кубики или цилиндры, а просто ромбы и окружности. Пусть в каких-то искусственных условиях у мозга это получилось не лучшим образом, но зато у него получается это постоянно делать в реальном мире.

2. ИЛЛЮЗИЯ «НЕВОЗМОЖНЫХ» ФИГУР

– Не может быть! – воскликнула Алиса. – Я этому поверить не могу!

– Не можешь? – повторила Королева с жалостью. – Попробуй ещё раз: вздохни поглубже и закрой глаза. Алиса рассмеялась.

– Это не поможет! – сказала она. – Нельзя верить в невозможное!

– Просто у тебя мало опыта, – заметила королева.

– В твоём возрасте я уделяла этому полчаса каждый день! В иные дни я успевала верить в десяток невозможностей до завтрака.

Льюис Кэрролл.

Алиса в зазеркалье.

Со способностью мозга стремиться представлять любое изображение объёмным, связано появление «невозможных» фигур. Посмотрите на три бруска, скреплённые треугольником (рис. 13). На первый взгляд ничего особенного. Но приглядитесь... и Вы поймете, что бруски в такой треугольник собрать нельзя, по крайней мере, прямые бруски. Как же *на самом деле* собраны эти бруски? Но ведь *на самом деле брусков нет* – на картине лишь несколько полосок. Это наш мозг пытается построить из них объёмную фигуру и... терпит неудачу.

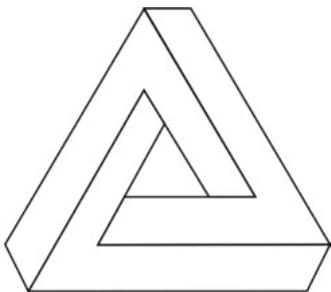
Этот треугольник получил название треугольник Пенроуза в честь английского математика Роджера Пенроуза (*Roger Penrose*, родился в 1931).

Ниже представлены ещё несколько «невозможных» фигур. На рис. 14 изображён «невозможный» куб, который как бы является кубом Неккера с неправильным представлением того, какие рёбра лежат на переднем плане, а какие – на заднем. Этот куб часто называют кубом Кокрана в честь американского фотографа Чарльза Кокрана

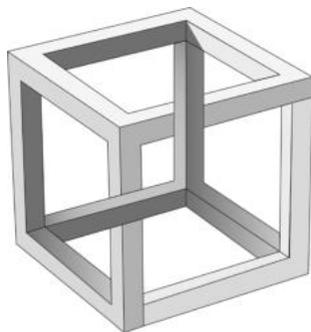
(*Charles Cochran*), опубликовавшим «фотографию» подобного куба в 1966 г.

На рис. 15 Вы видите лестницу. С первого взгляда лестница – как лестница, вот только, сколько в ней ступенек? В левой части лестницы четыре ступеньки, а в правой – только три. Также неясно, сколько зубьев у трезубца (вилки) на рис. 16. И опять – бессмысленно спрашивать, сколько ступенек или зубьев на самом деле. На плоском рисунке только линии, а уже наш мозг пытается представить их в виде объёмных фигур.

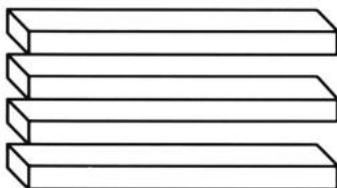
В одной книге невозможно перечислить все «невозможные» фигуры. Только шведский художник Оскар Рутерсвард (*Oscar Reutersvärd*, 1915 – 2002) создал более двух тысяч таких фигур.



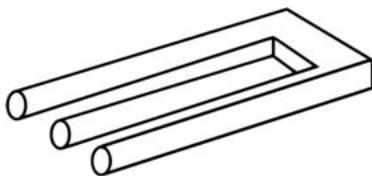
*Рис. 13. «Невозможный»
треугольник Пенроуза*



*Рис. 14.
«Невозможный» куб*



*Рис. 15.
«Невозможная» лестница*



*Рис. 16.
«Невозможный» трезубец*



*Рис. 17. М. Эшер. «Бельведер» (1958).
Где человек на лестнице: снаружи или внутри?*

На основе геометрических «невозможных» фигур созданы подлинные произведения искусства. Большим мастером картин с «невозможными» фигурами был голландский художник Мауриц Эшер (*Maurits Escher*, 1898 – 1972, иногда пишут Мориц или Морис).

Посмотрите на его картину «Бельведер» (от итал. *belvedere* – «смотровая площадка») на рис. 17. Вроде бы ничего особенного. Но присмотритесь: где находится человек на лестнице – внутри здания или снаружи? Колонны здания расположены «невозможным» образом: второй этаж невозможным образом развернут относительно первого. Недаром внизу картины изображен человек, держащий в руке «невозможный» куб (рис. 18).

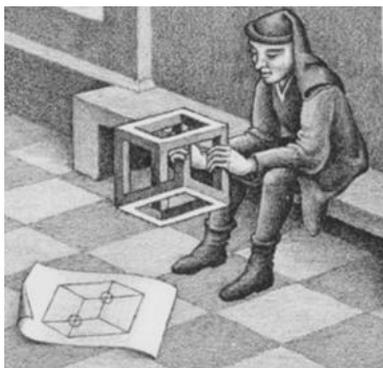


Рис. 18. Фрагмент предыдущей картины

На рис. 19 ещё одно произведение Эшера «Восхождение и спуск» (1960). В основе картины лежит «невозможная» лестница Пенроуза, опубликованная в 1958 г. Люди идут по лестнице вверх, поворачивают и снова поднимаются вверх, ещё поворачивают и снова идут вверх, ещё немного вверх, и они... попадают в исходную точку. А навстречу им идут люди всё время вниз! Но не может же лестница идти всё время вверх! Настоящая лестница не может, но на картинке не лестница, а всего лишь несколько отрезков, которые наш мозг представляет лестницей, да ещё пытается по положению окружающих предметов определить, куда идёт эта лестница – вверх или вниз.

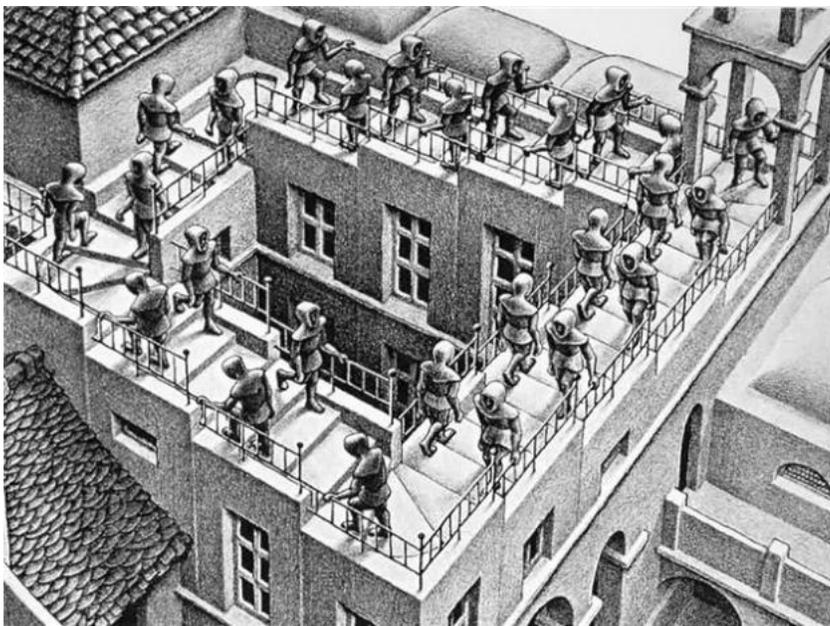


Рис. 19. М. Эшер. Восхождение и спуск (1960)

В чём «секрет» этой лестницы? Художник изобразил эту лестницу так, что нам представляется, что идущие по ней люди поворачивают под прямыми углами. Следовательно, сверху она имеет вид прямоугольника. Но тогда её противоположенные стороны должны быть равны! А дальняя часть лестницы явно короче ближней. То есть, лестница изображена в неверной проекции, что создаёт ложное представление о наклоне ступенек.

Ниже приведены ещё «невозможные» объекты в рисунках Эшера.

На картине «Водопад» (рис. 20) изображена водяная мельница, где вода течет по желобам вниз, затем низвергается в виде водопада и... оказывается в исходной точке.

Надеемся, что Вы заметили «невозможность» таких желобов, которые соединяются концами под прямым углом, а другие концы оказываются друг под другом.



*Рис. 20. М. Эшер. Водопад (1961)
Может ли вода все время течь вниз?*

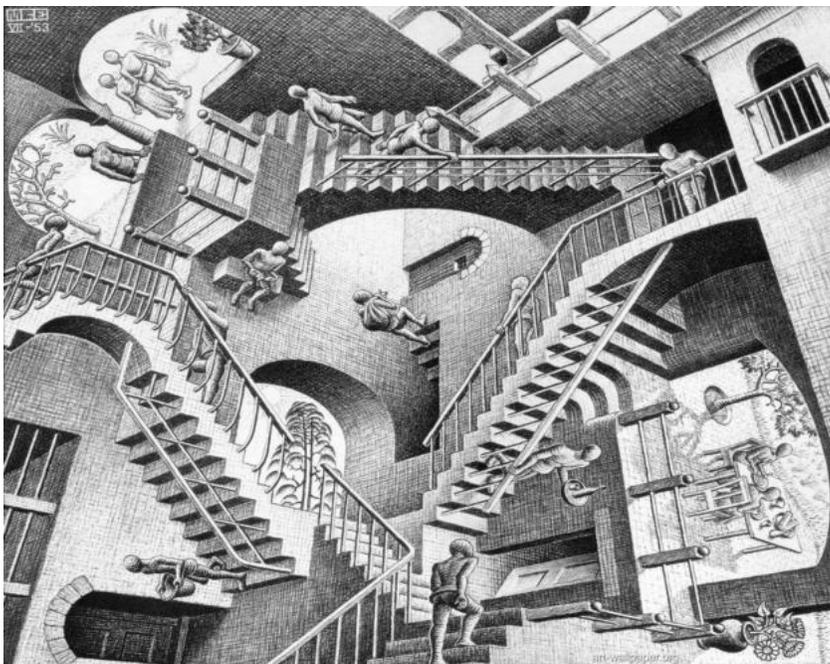


Рис. 21. М. Эшер. *Относительность* (1953)

В картине на рис. 21 вообще потеряно представление о верхе и низе, хотя с первого взгляда картина выглядит вполне правдоподобно.

Заметим, что Эшер не был первопроходцем в этом жанре. Картины с фантастическим представлением пространства рисовали задолго до него. На рис. 22 Вы видите картину «Рыбак» английского художника Уильяма Хогарта (*William Hogarth, 1697 – 1764*), написанную в 1754 году. Вроде с первого взгляда, на картине нет ничего необычного. Но присмотритесь, действительно, всё в порядке?

Пусть нас не огорчает, что наш мозг не может сразу распознать подвох художника и пытается представить реальную объемную фигуру там, где это невозможно. Зато сколько раз, рассматривая рисунки, фотографии, и даже при просмотре фильмов наш глаз позволял нам представить мир объемным!



*Рис. 22. У. Хогарт. Рыбак (1754).
Все ли на картине в порядке с размерами?*



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Как сделать «невозможное» возможным?

Посмотрите на фото (цв. рис. 23). На столбике установлен «невозможный» треугольник. Но, очевидно, это не рисунок, а фотография реальной объёмной скульптуры. Получается, что «невозможный» треугольник всё же можно сделать.

Такая скульптура действительно существует в г. Перт, Австралия. Её размер более 13 метров. Но треугольником она кажется только с одной точки. Если посмотреть на скульптуру с других ракурсов, то сразу видно, в чём дело (цв. рис. 24).

Используя могущество математики и наши знания о геометрических проекциях, «невозможный» треугольник можно сделать замкнутым, но не из прямых досок. Такую фигуру придумал бельгийский художник Матье Хемакерз (*Mathieu Hamaekers*, род. 1954). Он выглядит «невозможным» только если смотреть из определённой точки. Из других точек он выглядит криволинейным. На цв. рис. 25 фото скульптуры Хемакерза установленной в городе Опховен (Бельгия).

Другой вариант «невозможного» треугольника показан на рис. 26. Его создал советский художник Вячеслав Колейчук (род. 1941).

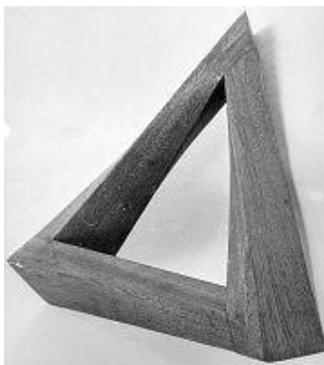


Рис. 26.

«Невозможный» треугольник Вячеслава Колейчука

Используя компьютер, можно рассчитать объёмные фигуры, которые в определённой проекции выглядели бы как «невозможные». Сотрудник факультета компьютерных наук института в Хайфе (Израиль) Элбер Гершон (*Elber Gershon*) создал множество компьютерных моделей «невозможных» объектов, в том числе картин М. Эшера. Модели были распечатаны на 3D принтере. Ниже показана реализация «невозможного» Бельдевера М. Эшера.

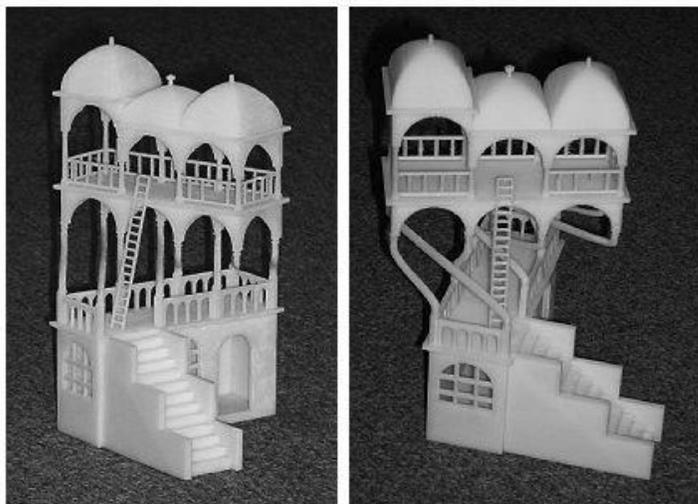


Рис. 27.

Скульптура «невозможного» Бельдевера Элбера Гершона

3. СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

И сладок свет, и благо очам – видеть солнце.

Библия, книга Эккlesiаст 1:7

Откуда же у нашего глаза способность превращать плоский рисунок в объёмный? Это случайность?

Чтобы ответить на этот вопрос нужно от геометрии перейти к физиологии и рассмотреть устройство человеческого глаза.

Упрощенно можно представить, что глаз состоит из роговицы, хрусталика и сетчатки, как показано на цв. рис. 28. Роговицу и хрусталик можно представить как линзу с переменным фокусным расстоянием, а сетчатка подобна экрану, на котором создаётся изображение. Сетчатка состоит из большого числа (более ста миллионов) светочувствительных клеток, так называемых палочек и колбочек (чем они отличаются, поговорим позже). Свет возбуждает клетки, они передают сигналы другим клеткам, и далее по цепочке в мозг. В мозгу информация собирается, обрабатывается и в результате формируется зрительный образ. Сетчатка чем-то напоминает светочувствительную матрицу видеокамеры (хотя имеются существенные различия, о которых мы скажем ниже).

Таким образом, на сетчатке получается плоское ($2D$) изображение. Если бы мы видели только глазами, то мир казался бы плоским. Но ведь мир объёмный! Если бы мозг не умел превращать плоское изображение в объёмное, то от зрения было бы мало пользы, мы не могли бы ориентироваться в окружающем мире. Поэтому нашему мозгу приходится каждую минуту, каждую секунду проводить невидимую для нас работу, преобразуя плоское изображение на сетчатке в объёмный зрительный образ. Таким образом, наша способность видеть объёмные картины на листе бумаги или экране монитора – это лишь малая часть работы мозга, который должен практически всё время нашего бодрствования проводить огромную работу по превращению плоского в объёмное.

Наш мозг прекрасно справляется с этой задачей. Но всё же иногда он ошибается. Почему? Говорят, что исключения подкрепляют правило. Подумаем, когда ошибается наш мозг? Он может ошибиться, когда мы специально предлагаем ему ситуации, далекие от тех, которые встречаются в природе. Мозг приспособился представлять объёмным мир, который окружал человечество тысячи лет и когда вопрос выживания стоял перед людьми чуть ли не ежедневно. Пусть теперь в некоторых случаях, о которых мы расскажем ниже, он ошибётся – это не страшно, ведь от этого не зависит наша жизнь.

4. ИЛЛЮЗИЯ ПЕРЕВЁРНУТОГО МИРА

В течение длительного времени не было чёткого представления об устройстве глаза. Первым, кто правильно построил ход лучей в глазе, был Иоганн Кеплер (*Johannes Kepler*, 1571 – 1630). Но его открытие вызвало большую проблему. Понять её можно из простого эксперимента. Возьмите собирающую линзу (лупу), встаньте напротив окна и поднесите её к стене. Когда расстояние между линзой и стеной будет примерно равно фокусному расстоянию (обычно несколько сантиметров) на стене появится изображение окна, но оно будет... вверх ногами! Тот же опыт можно повторить вечером с настольной лампой. Только ни в коем случае не надо смотреть на лампу, а нужно получить её изображение на стене! Изображение лампы также будет перевернутым.

Если глаз формирует изображение подобно линзе, то получается, что люди также видят мир перевернутым, как схематично показано на цв. рис. 29. Но ведь мы видим мир нормально: земля – внизу, небо – наверху, иначе от зрения было бы мало пользы. В чём же здесь дело?

Мы уже знаем, что мозг обладает удивительной способностью быстро обрабатывать поступающие от глаза сигналы. Может, он успевает переворачивать поступающие изображения, и они доходят до нашего сознания уже в «нормальном» виде?

Эта гипотеза объясняет, почему мы видим мир не вверх ногами. Но как её проверить?

Простым и наглядным доказательством правильности этой гипотезы стал эксперимент, сделанный в 1897 г. американским психологом Джорджем Стреттоном (*George Stratton*, 1865 – 1957). Он изготовил очки, которые переворачивали изображение вверх ногами. Когда он надел их, мир перевернулся. Несколько дней ученый с трудом ориентировался в окружающем пространстве, но очки не снимал. Через неделю он уже видел мир нормальным. Мозг приспособился! Затем Стреттон снял очки. Мир снова перевернулся! Ему потребовалось ещё неделя, чтобы снова увидеть нормальный мир. Позже эти эксперименты были многократно повторены с тем же результатом. Таким образом, было наглядно продемонстрировано, что наш мозг умеет переворачивать изображение автоматически, мы даже не осознаем, что видим перевернутый мир.

Поскольку глаза млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, рыб и пр. устроены подобным образом, то их мозг также должен уметь переворачивать мир, иначе они не смогли бы ориентироваться. А ведь мозг пескаря намного меньше нашего.

5. БОЛЬШОЙ И МАЛЕНЬКИЙ

На рис. 30 изображен гриб. Рядом тот же гриб, только в 2 раза больше. Он подрос или мы просто подошли поближе? Почему удалённые предметы нам кажутся меньше, чем такие же предметы вблизи? Это ведь тоже своего рода иллюзия, на самом деле размеры предметов не меняются.

Дело в том, что размер изображения предмета на сетчатке зависит не столько от его реального размера, сколько от *углового* размера.

Что такое угловой размер иллюстрирует следующий рисунок. Это угол, под которым глаз видит

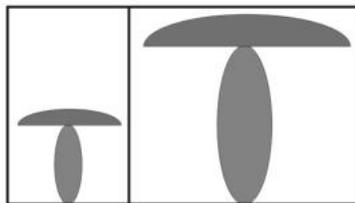


Рис. 30. Два гриба

объект, как показано на рис. 31. Чем ближе объект, тем больше угол, под которым его видит глаз.



Рис. 31. Угловой размер

Получается, что два объекта, имеющие одинаковые угловые размеры должны представляться нашему глазу одной величины. Почему же, когда мы стоим на улице, и мимо нас проезжает автобус, он не кажется нам таким же большим, как здание напротив, хотя автобус полностью заслоняет здание? Дело в том, что наш мозг очень хорошо умеет определять, какие предметы находятся на переднем плане, а какие – на заднем. Делает он это на подсознательном уровне, ориентируясь на привычные для него естественные условия. Поэтому, поставив мозг перед непривычной задачей, его можно обмануть, что мы подробнее обсудим ниже.



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Фото без размера**

Родители любят на память фотографировать своих детей. Желательно, чтобы при этом на фотографии находились предметы, по которым можно было оценить рост ребёнка. Рост взрослого человека меняется мало, поэтому человек сам может послужить ориентиром, чтобы понять насколько велики объекты на фотографии.



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Большой или маленький?**

Перед Вами фото одного детектора Большого адронного коллайдера (CERN, Швейцария – Франция). Его размеры сложно определить, пока не замечаешь маленького человечка внизу фото (см. цв. рис. 32).



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Размеры Солнца и Луны.

Солнце и Луна имеют примерно одинаковые угловые размеры – $0,5^\circ$. Во время солнечных затмений Луна загораживает Солнце, но при этом оставляет для наблюдений солнечную корону. Это очень помогает учёным, исследующим солнечную корону, поскольку наблюдать корону на фоне яркого Солнца очень сложно (см. цв. рис. 33).

6. ЭФФЕКТ ПЕРСПЕКТИВЫ

Свойство видимых (угловых) размеров предметов уменьшаться при их удалении называется эффектом (правилом) *перспективы*.

Возможно, Вы много раз видели, как железнодорожные рельсы или длинное шоссе сужаются у горизонта (см. цв. рис. 34). Действительно, чем дальше предмет, тем меньше его угловой размер. Поэтому шпалы вдали кажутся всё меньше и меньше, так же как и стоящие вдоль дороги столбы.

А как перспектива проявляется в иллюзиях?

Правило перспективы требует, чтобы более далёкие предметы изображались меньше близких. На этом основаны иллюзии, связанные с видением перспективы. Впервые на них обратил внимание итальянский психолог Марио Понцо (*Mario Ponzo*, 1882 – 1960) в 1913 г. Один из вариантов этой иллюзии представлен на цв. рис. 35.

Одинаковые ли размеры фиолетовых дорожных столбов? Кажется, что верхний столб больше, а нижний – меньше. Но, приложив линейку, Вы увидите, что они одинаковы.

Почему так получается? Оба столба расположены на одинаковом от нас расстоянии – в плоскости рисунка, поэтому угловые размеры у них одинаковые. Но наш мозг пытается увидеть рисунок объёмным. А сходящиеся лучи воспринимаются мозгом, как удаляющаяся

дорога. Возникает ощущение, что мы смотрим вдаль, и что верхний столб находится дальше, чем нижний. Мозг считает, что все удаляющиеся столбы имеют одинаковые размеры, просто мы их видим уменьшающимися. Поэтому верхний фиолетовый столб, который намного крупнее своих соседей, представляется просто гигантским, даже больше другого фиолетового столба, который на самом деле имеет такой же размер.

Наш мозг обманулся? Да. Но только потому, что мы поставили его в искусственные условия. Если бы в реальном мире на удаляющейся дороге стояли два столба (или два дерева) с одинаковыми угловыми размерами, то более далёкое дерево было бы больше ближнего.

Аналогично, в иллюзии на следующем рисунке (рис. 36) нам кажется, что отрезок AC меньше, чем AB , хотя, приложив линейку, мы убедимся, что они одинаковой длины. Почему мы ошиблись?

Наш мозг пытается увидеть рисунок объёмным. Если бы перед нами был не параллелограмм, а прямоугольная площадка, на которую мы смотрим сверху и немного сбоку, то в реальном объёмном мире дорожка AC на самом деле была бы короче дорожки AB .

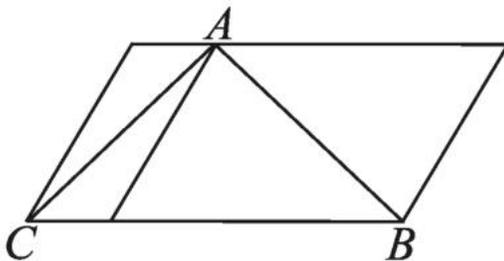


Рис. 36. Какой отрезок длиннее? Вы уверены?

Поэтому нужно спросить не «Почему наш мозг ошибся?», а «Ошибся ли он?»

Если, например, на картине (рис. 37) нарисованы два дерева и Луна, то как ответить на вопрос: «Одинаковы ли расстояния от дерева до Луны и между деревьями?» Приложив линейку, мы увидим, что длины AB и BC равны. Но значит ли это, что правильный ответ на

вопрос: «Да. Расстояние между деревьями и расстояние от дерева до Луны одинаковы»? Мы прекрасно знаем, что расстояние до Луны больше, хотя, нам очень трудно представить насколько больше.

Конечно, параллелограмм и геометрические отрезки – это не реальный мир, но наш мозг приспособлен ориентироваться в объёмном мире, и не может каждый раз перестраиваться, когда нам нужно решить геометрическую задачу на плоскости. Посмотрите на рис. 38.

Одинаковы ли длины AB и AC ? С первого взгляда кажется, что AC длиннее AB . Приложив линейку, мы убедимся, что длины одинаковы. Но рисунок – этот не геометрическая фигура. Художник потратил усилия, чтобы мы видели рисунок объёмным. А в реальном мире, дорожка AC была бы действительно длиннее дорожки AB .

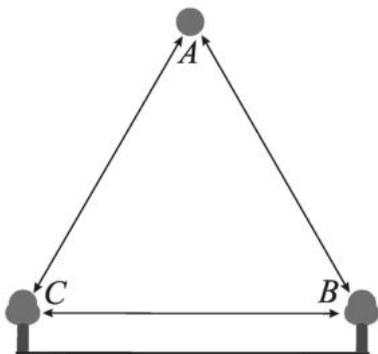


Рис. 37. Луна и два дерева.
Одинаковы ли расстояния между деревьями и от дерева до Луны?

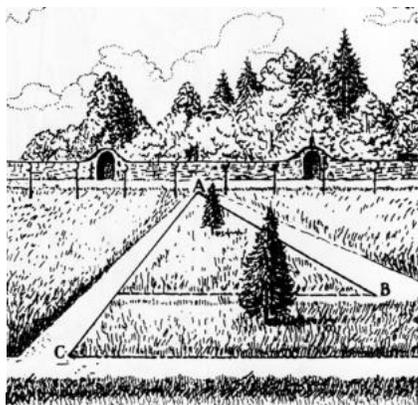


Рис. 38. Одинаковы ли длины дорог AB и AC ?

Поэтому для *правильного ответа* нужен *правильный вопрос*:

- 1) Либо: «Одинаковы ли длины отрезков AB и AC на *листе бумаги*?»
- 2) Либо: Одинаковы ли длины *изображенных* на рисунке дорожек AB и AC ?

В первом случае правильный ответ: «Одинаковы», во втором случае правильный ответ: «Художник изобразил дорожку AC длиннее дорожки AB ».



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

При работе с геометрическими фигурами и чертежами пользуйтесь линейкой, а не пытайтесь оценить размеры на глаз.

Использование перспективы делает картину объемной, мы изображаем предметы так, как мы бы их видели, если бы они были трехмерными. Поэтому художники используют перспективу при создании своих произведений. Посмотрите, какой невероятной высоты кажется вавилонская башня на картине Эшера (рис. 39) за счет уменьшающейся ширины основания башни и микроскопических домов и кораблей внизу.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Обратная перспектива

Иногда в искусстве применяют прием «обратной перспективы», то есть удаленные предметы изображаются не меньше, а крупнее. Это может помочь автору подчеркнуть значимость удаленных предметов или может преследовать цель указать на иллюзорность нашего восприятия пространства. Ведь в действительности предметы на заднем плане не уменьшились оттого, что их удалили от зрителя. Обратную перспективу использовал, например, представитель французского постимпрессионизма Поль Сезанн (*Paul Cezanne*, 1839 – 1906) («Персики и груши») (цв. рис. 40).

Прием обратной перспективы используется в иконописи. Мало того, что фигурки на заднем плане зачастую не меньше, чем на переднем, но и стены строений не смыкаются на бесконечности, как рельсы, а развернуты к зрителю. Это создает особую неповторимую динамику пространства иконы. Как писал русский философ и богослов П. Флоренский, «Мы не втягиваемся в это пространство (иконы), мало того, оно нас выталкивает»...

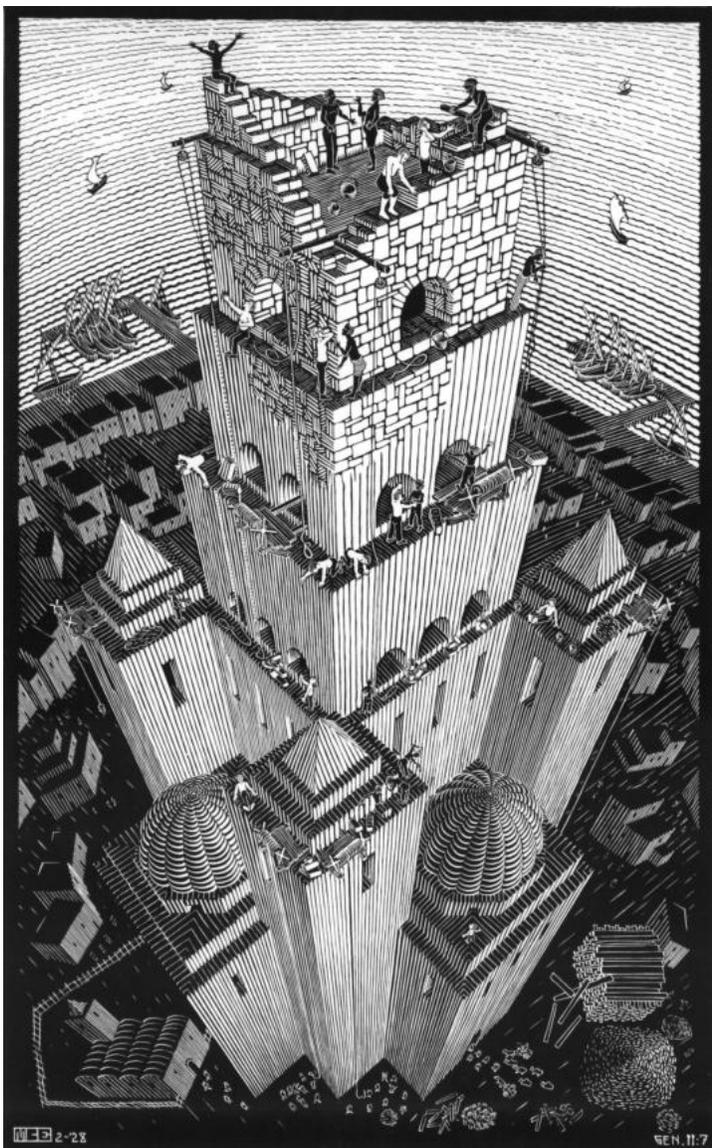


Рис. 39. М. Эшер. Вавилонская башня

Например, на знаменитой иконе Андрея Рублева «Троица» (цв. рис. 41), доски, на которые опираются ноги сидящих справа и слева фигур не сужаются, как того требует перспектива, а напротив, расширяются.

Интересно, что маленькие дети до того, как им рассказывают правило рисования картин с использованием перспективы, иногда пользуются как раз обратной перспективой. Почему? Возможно, у каждого «мастера» свои секреты. Известен случай, как одному мальчику пяти лет объяснили правило перспективы. После этого он нарисовал дом, от заднего крыльца которого шла дорожка, расходящаяся от зрителя. На вопрос, почему он так нарисовал, юный художник ответил: «ведь гости пойдут с той стороны, и они увидят дорожку сходящейся к дому».



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Использование эффекта перспективы в архитектуре

Здание может стать и быть прекрасным и без украшений благодаря одним своим пропорциям.

Йоганн Винкельман
(*Johann Winckelmann*, 1717 – 1768) –
немецкий историк и искусствовед

Если встать вблизи многоэтажного дома и посмотреть наверх, то уходящие вверх стены будут сужаться подобно уходящим вдаль рельсам. Если стены сделать не прямыми, а чуть сходящимися кверху, подобно усечённой пирамиде, то снизу высота здания будет казаться ещё больше, здание приобретает стройность и лёгкость.

Архитекторы знали этот эффект и использовали с древнейших времён. Так старейший в московской области храм Успения на Городке в Звенигороде (начало XV века) имеет не строго прямоугольную форму (рис. 42). Его верх чуть меньше основания. Это не бросается в глаза, но придаёт храму особое изящество.



Рис. 42. Храм Успения на Городке, Звенигород

В этом же стиле выполнены ещё три храма того времени: собор Рождества Богородицы Саввино-Сторожевского монастыря, Свято-Троицкий собор Троице-Сергиевой лавры и Спасский собор Спасо-Андроникова монастыря в Москве.

7. КОМНАТА ЭЙМСА

Наш мозг можно обмануть не только на рисунке, но и в реальных ситуациях, например, в специальной комнате, созданной американским физиком и психологом Эдельбертом Эймсом (*Adelbert Ames*, 1880 – 1955).

Посмотрите на фотографию (цв. рис. 43). С первого взгляда кажется, что ничего странного в ней нет, обычная прямоугольная комната. На следующем фото (цв. рис. 44) мама с ребёнком. Странно – ребёнок в левом углу кажется больше мамы. Может, это такой необычный ребёнок?

На следующем фото (цв. рис. 45) мама с ребёнком поменялись местами – теперь ребёнок выглядит просто лилипутом. Наконец мама с ребёнком стоят вместе (цв. рис. 46), и мы можем оценить истинное отношение их ростов.

Комната призвана обмануть наш мозг. Мы привыкли к тому, что комнаты прямоугольные, и думаем, что эта комната также прямоугольная. Якобы квадратные клетки на полу усиливают иллюзию. На самом деле комната сделана в виде трапеции. Левый угол ближе правого, кроме того пол слева сильно приподнят. Задняя стена тоже имеет форму трапеции, окна на заднем фоне – тоже трапеции. Когда ребёнок стоит в левом ближнем углу на приподнятом полу, он почти достаёт до потолка и кажется нам ростом с маму, которая стоит в дальнем углу.

Если мама с ребёнком поменяются местами, то великаншей выглядит мама, поскольку будет стоять в ближнем углу и упираться в потолок.

Наш мозг ошибся? Да, но только потому, что обзор был искусственно ограничен. Иллюзия в комнате Эймса возникает только, если смотреть в неё из определенной точки. Если посмотреть с другой стороны, то иллюзия пропадает. Следующее фото (цв. рис. 47) сделано внутри комнаты. Видно, что черные клетки на полу совсем не квадратные. Пол наклонный, хотя на фотографии это сложно заметить. Слева в стене маленькое окошечко – именно через это окошечко были сделаны предыдущие фотографии. Только при

взгляде через это окно наше зрение будет обмануто.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Чтобы составить правильное представление об объекте, его нужно рассмотреть с разных сторон.

8. ИЛЛЮЗИЯ ЛУНЫ

С принципом перспективы связана одна очень распространенная иллюзия, которая большинству людей даже не представляется иллюзией. Где больше Солнце, в зените или около горизонта? А Луна? Большинство отвечает, что Солнце у горизонта больше, чем в зените. Да и Луна у горизонта больше. Однако это только кажется. Можно убедиться, что при движении по своду угловой размер Луны не меняется. Достаточно взять линейку (лучше штангенциркуль) и на вытянутой руке измерить размер Луны в зените и у горизонта. Размер Солнца в зените, конечно, так просто измерить нельзя. Для измерения размера Луны можно также воспользоваться фотоаппаратом. Сложность заключается в том, что для съемки Луны придётся использовать длительные экспозиции.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Смотреть на Солнце нельзя. Вы можете навсегда ослепнуть! Съёмка Солнца без специального тёмного светофильтра приведет к порче фотоаппарата!

Почему же Луна и Солнце у горизонта кажутся больше?

Здесь сказывается тот же эффект перспективы. Наш мозг приспособлен отслеживать перспективу и оценивать размеры тел по их удаленности. Предметы у горизонта мы видим более мелкими, чем такие же предметы вблизи.

Что же мы видим, когда смотрим на Луну? Луна находится от нас на расстоянии примерно 400 тыс. км. Это сложно себе представить. Как сказал кот из одного мультфильма: «Луна гораздо выше, чем я

могу допрыгнуть». Расстояние до Луны можно считать постоянным, независимо от того, у горизонта Луна или в зените.

Наше зрительное восприятие попадает в очень сложное положение. Между нашим глазом и объектами на ночном небе: звездами, планетами, Луной, спутниками (их высота обычно около 200 км), нет объектов, которые позволили бы нам оценить расстояние до них – деревья, горы и даже летящие самолёты несопоставимо ближе. Поэтому наш мозг не в состоянии определить расстояния до объектов на небе.

Наш мозг привык считать, что предметы, удаляясь от нас к горизонту, уменьшаются (эффект перспективы). Но Луна, опускаясь к горизонту, не меняет своих угловых размеров.

Луна кажется большой на фоне далёких домов, деревьев, столбов и других объектов, уменьшающихся при удалении к линии горизонта, как показано на цв. рис. 48. Тёмно-жёлтый кружок вдали кажется больше кружка над телеграфным столбом, но, вооружившись линейкой, можно убедиться, что они одинаковы.

Попробуйте провести простой эксперимент: посмотрите на Луну у горизонта одним глазом через свернутый трубочкой лист бумаги так, чтобы в поле зрения не попадали другие объекты. Иллюзия большой Луны исчезнет!

Эффект перспективы вызывает и другую иллюзию – купол неба нам кажется не сферическим, а приплюснутым. Мы довольно точно можем определить расстояние до линии горизонта, поскольку между нами и объектами у горизонта (деревьями, домами, холмами и т.п.) много других подобных объектов, и мы примерно можем оценить расстояния между ними и сложить их. Линия горизонта на ровной местности видится в пяти километрах, а на возвышенности – ещё дальше. А можем ли мы оценить на глаз расстояние до облаков над нами или расстояние до летящего в небе небольшого самолета (не зная его истинных размеров)? Мы можем только сказать, что они намного выше домов и деревьев, но насколько выше – сто метров, двести, километр... – определить уже трудно. *На взгляд*, до неба не больше километра – двух. Поэтому нам кажется, что до облаков,

до синего неба над нами расстояние меньше, чем до горизонта, т.е. небесный купол нам кажется не сферическим, а приплюснутым.

Иллюзия увеличивающегося на закате Солнца (или Луны) – это, конечно, недостаток нашего зрительного восприятия. Но, с другой стороны, наша жизнь не зависит от видимого размера Солнца (или Луны), так что эта иллюзия не влияла на выживание человечества. Определить истинное расстояние до Солнца или Луны невооруженным глазом невозможно, это можно сделать только с помощью астрономических измерений. Расстояние до Луны астрономы достаточно точно определили ещё в древности, а расстояние до Солнца не могли измерить вплоть до XVII века!



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Расстояние до Луны**

Строго говоря, угловой размер Луны все же немного меняется. Луна вращается вокруг Земли не строго по окружности, а по эллипсу. Минимальное расстояние – 356 тыс. км, а максимальное – 406 тыс. км. Реальное (а не кажущееся) изменение углового размера Луны происходит в течение нескольких дней и составляет примерно 12%, в то время как Луна у горизонта кажется в несколько раз больше, чем в зените.

9. ИЛЛЮЗИЯ ИРРАДИАЦИИ

Посмотрите на рис. 49. Кажется, что светлый квадрат больше соседнего черного, хотя, приложив линейку, можно убедиться, что они одинаковы. На рис. 50 кажется, что промежутки между тёмными кругами больше кругов, хотя они одинаковы. Светлое кажется больше тёмного.

Зависимость кажущегося размера предмета от его освещенности называется иррадиацией (от лат. *irradio* – освещаю).

Известно это явление очень давно. Древнеримский архитектор Марк Витрувий (I век до н.э.) писал: «свет пожирает мрак».

Древнегреческие архитекторы знали, что колонны на фоне яркого неба кажутся тоньше, поэтому крайние колонны зданий часто делались толще центральных.

Почему же светлое кажется больше тёмного?

Явление иррадиации изучено плохо. Немецкий физик, врач и психолог Герман фон Гельмгольц (*Hermann von Helmholtz*, 1821 – 1894) объяснял его не строгой сферичностью роговицы и хрусталика, в результате чего свет от точечного источника собирается на сетчатке не в точку, а создает небольшое пятно, что увеличивает светлые предметы и уменьшает тёмные.



Рис. 49. Иллюзия иррадиации: какой квадрат больше?

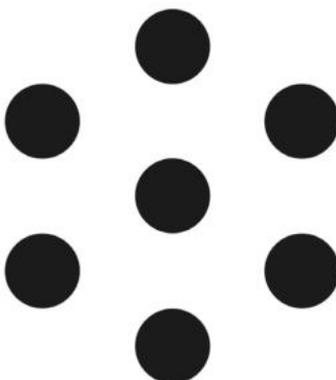


Рис. 50. Иллюзия иррадиации, что больше: круги или расстояния между ними?

Возможно, что увеличение светлых предметов происходит из-за желания нашего мозга представлять мир объёмным. Мозгу нужно знать, какие предметы находятся ближе, а какие – дальше. Явление перспективы помогает ему в этом. Но что делать в темноте, когда предметы плохо видны?

Приходилось ли Вам ночью в поле или на пустыре определять расстояния до освещенных окон домов или далёких фонарей? Даже примерно определить расстояния до одиночных источников света очень сложно.

В темноте для оценки расстояний до предметов наш мозг может учитывать косвенные параметры, например, их освещенность. В естественных условиях мы видим предметы, потому что они рассеивают свет от Солнца (или Луны). При этом основное внимание наш мозг уделяет отблескам, ведь замаскировавшегося тигра рассмотреть важнее, чем тёмный фон. Но, даже если мы видим тёмные предметы на светлом фоне (на закате), чтобы оценить расстояние, наш взгляд пытается поймать хоть небольшой отблеск от них. Светлые предметы более значимы и потому могут казаться крупнее. Поэтому, когда нет других ориентиров для определения взаимного расположения, светлые предметы кажутся на переднем плане и выглядят больше, а тёмные сливаются с фоном и кажутся мельче.

Глядя в ночное безоблачное небо, мы видим множество звёзд разной величины. Но на самом деле видимые размеры звёзд имеют мало отношения к истинным размерам. Угловые размеры даже самых больших звёзд составляют миллионные доли градуса. Их невозможно измерить не только невооружённым глазом, но даже в телескоп. Почему же мы видим звёзды в виде маленьких кружочков, да ещё разной величины? Отчасти это связано с преломлением и рассеянием света в атмосфере. Но не последнюю роль играет и явление иррадиации: более яркие звёзды нам кажутся большего размера.

Существуют и другие косвенные признаки удалённости предметов. Вследствие неполной прозрачности воздуха (восходящие потоки воздуха, пыль, туман и др.) далёкие предметы кажутся размытыми.

Это хорошо известно художникам и используется ими для придания глубины картин – задний фон обычно создается более размытым, чем фигуры на переднем плане.

В реальном мире мы также оцениваем расстояние до объектов по степени их размытости. Но здесь легко ошибиться. Например, в горах воздух бывает очень чистым и можно хорошо видимые далёкие вершины посчитать близкими. Напротив, в условиях тумана близкие объекты можно ошибочно посчитать далёкими. Это опасно, особенно если Вы находитесь за рулем автомобиля или велосипеда, поскольку может привести к столкновению.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

В условиях тумана соблюдайте повышенную осторожность. Не доверяйте оценке расстояний до объектов «на глаз».

10. ИЛЛЮЗИЯ ОКРУЖЕНИЯ – ИЗМЕНЕНИЯ РАЗМЕРОВ

Чтобы построить глубину видимого на сетчатке окружающего мира, наш мозг автоматически сравнивает предметы, пытаясь определить, что стоит на переднем плане, что на заднем, что имеет больший размер, а что меньший. Возможно, поэтому, если мы видим предмет рядом с чем-то большим, то он кажется меньше.

Посмотрите на шляпу (рис. 51). Кажется, что овал наверху меньше овала внизу, хотя, приложив линейку, можно убедиться, что они одинаковы.

Так происходит, потому что мы подсознательно сравниваем внутренний овал с большим внешним овалом шляпы.

Аналогично, в следующей иллюзии (рис. 52) немецкого психолога Германа Эббингауза (*Hermann Ebbinghaus*, 1850 – 1909) центральные круги одинаковы, но



Рис. 51. Иллюзия «шляпы»

правый круг кажется больше. Эта иллюзия вызвана тем, что мозг сравнивает правый круг с маленькими кружочками, а левый – с большими.

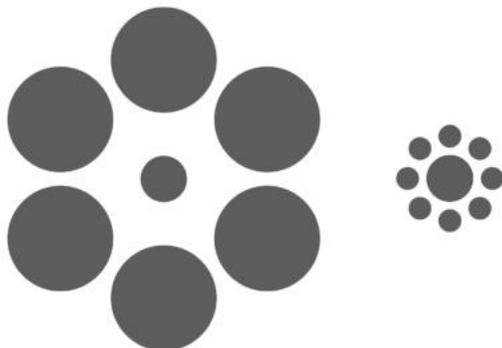


Рис. 52. Иллюзия Эббингауза. Одинаковы ли центральные круги?

В иллюзии американского психолога Джозефа Ястрова (*Joseph Jastrow*, 1863 – 1944) на рис. 53 верхняя фигура кажется меньше, хотя они совершенно одинаковы. Наш мозг сравнивает нижнюю сторону верхней фигуры с более длинной стороной нижней фигуры, и потому верхняя фигура кажется меньше. В некоторых учебниках указано, что автором этой иллюзии является немецкий психолог Вильгельм Вундт (*Wilhelm Wundt*, 1832 – 1920).

Существует множество подобных иллюзий. Например, на рис. 54 изображена иллюзия двух отрезков. Отрезок между большими квадратами кажется меньше отрезка между маленькими квадратами, хотя на самом деле они равны.

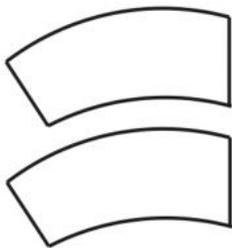


Рис. 53. Какая из фигур больше?



Рис. 54. Какой из отрезков длиннее?

Неправильное построение перспективы может привести к искажению восприятия углов.

Следующая иллюзия была опубликована в 2007 г. канадскими психологами Фредериком Кингдомом (*Frederick Kingdom*), Али Юнесси (*Ali Yoonessi*) и Еленой Георгиу (*Elena Gheorghiu*). На цв. рис. 55 две фотографии знаменитой падающей Пизанской башни. Только падает она почему-то под разными углами, башня справа явно наклонена сильнее. Что это? Сняли с другой точки или наклонили фотоаппарат? На самом деле – это одна и та же фотография, в чем нетрудно убедиться с помощью линейки и транспортира.

Почему же нам кажется, что правая башня наклонена сильнее? Во многих зрительных иллюзиях ответ не всегда очевиден, и можно привести разные соображения.

Здесь может проявляться эффект перспективы. Башня имеет ось симметрии, которая уходит вверх и направо, как схематично показано на цв. рис. 56. Боковые линии башни сходятся выше фото в точке O_1 . Закон перспективы говорит, что наблюдатель находится внизу башни, ниже и левее рисунка. Второе фото башни идентично первому, линии башни сходятся уже в точке O_2 . Закон перспективы говорит, что наблюдатель также находится ниже и левее башни. Линии наклона обеих башен параллельны, но наш мозг считает, что двух параллельных перспектив не бывает, а наблюдатель может быть только один. Поэтому нашему мозгу кажется, что взгляд идёт из одной точки, и, следовательно, правая башня наклонена сильнее.

Другое соображение, что эта иллюзия похожа на иллюзию Ястрова (рис. 53). Сравним расстояния от башен до краев фотографий (расстояния AB и CD на цв. рис. 56). Они одинаковы. Но область CD соседствует со значительно меньшей по размеру области

EF и потому кажется, что отрезок CD больше отрезка AB , и, соответственно, угол наклона второй башни больше.

У Вас мог возникнуть вопрос: почему же наш мозг ошибся при анализе фотографии реального объекта, а не абстрактной геометрической фигуры? Но возникает встречный вопрос: что в данном случае является объектом? Перед глазами у нас две рядом стоящие Пизанские башни, причём они нависают над нами. Но в реальности существует только одна Пизанская башня!

Представим себе, что на площади рядом стоят две одинаково наклонённые башни. Одна башня нависает над нами, значит, вторая стоит чуть поодаль. Увидим ли мы, что она нависает так же, как и первая? Разумеется, нет. Значит, наш мозг не так уж и сильно ошибся.

Если же наш мозг сравнивает не два реальных объекта, а две картинки или фотографии, то ситуация не отличается от иллюзии Ястрова с двумя простыми геометрическими фигурами.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Угол наклона Пизанской башни

Заметим, что иллюзия перспективы даёт неверное представление об угле наклона. Можете ли Вы по фотографии определить угол наклона Пизанской башни: 5° , 10° , 15° , 20° или больше? Текущий наклон составляет всего 4° , а максимальный (в начале 2000-х) был $5,5^\circ$.

11. ИЛЛЮЗИЯ СТРЕЛОК

В классической иллюзии немецкого психиатра Франца Мюллера-Лайера (1889) значение имеет не размер окружающих предметов, а углы между ними. На рис. 57 вверху изображены два горизонтальных отрезка. Правый отрезок кажется длиннее левого, хотя они одинаковы. Иллюзия сохраняется и в случае вертикальных отрезков. Отрезок AB кажется длиннее отрезка CD , хотя их длины равны.

Однозначного объяснения этой иллюзии нет. Одно из возможных объяснений состоит в том, что мы воспринимаем объекты «в целом». Если есть две фигуры, одна из которых больше другой, то мы воспринимаем части большей фигуры крупнее, чем аналогичные части меньшей фигуры. Поскольку правая фигура на самом деле длиннее левой, то часть правой фигуры представляется длиннее аналогичной части левой фигуры.

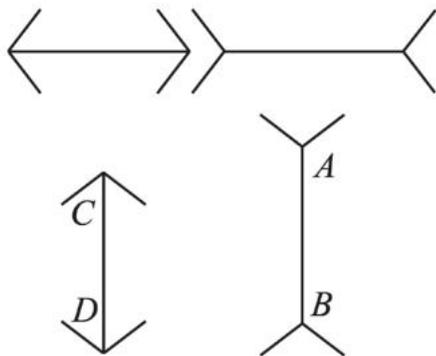


Рис. 57. Иллюзия Мюллера-Лайера

Но более убедительным представляется следующее объяснение. Обе фигуры плоские, а наш мозг стремится построить объёмное изображение. На рис. 58 изображены два угла дома, который имеет не прямоугольную форму, а как бы соединяет два «кубика». Угол EF ближе к нам, а угол AB – дальше. Одинаковы ли длины AB и EF ?

На этот вопрос приходится давать уже знакомый ответ: на бумаге длина отрезка EF больше отрезка AB . Но если иметь в виду объёмное изображение стены дома, то в силу закона перспективы высота стены EF равна высоте стены AB .

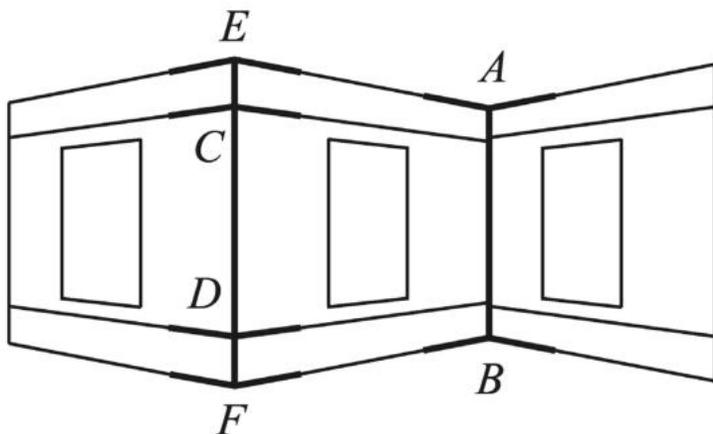


Рис. 58. К объяснению иллюзии Мюллера-Лайера

Вооружившись линейкой, можно убедиться, что одинаковые длины у отрезков AB и CD . Но на объёмном рисунке отрезок CD кажется короче отрезка AB . Обратите внимание, что стены дома вблизи отрезков AB и EF видны, как стрелки с расходящимися и сходящимися концами (выделены на рис. 58 жирными линиями). На рис. 57 нет вспомогательных линий, но, видимо, наш мозг подсознательно пытается построить объёмное изображение даже на основе стрелок, поэтому нам кажется, что отрезок CD короче отрезка AB .

Такое объяснение иллюзии Мюллера-Лайера подтверждается тем, что иллюзия проявляется (хотя и в меньшей степени), когда вместо стрелок мы видим «половинки стрелок», т.е. отрезки, образующие тупые или острые углы, как показано толстыми линиями на рис. 59. У куба острые углы типичны для ближних углов (C и D), а тупые углы – для дальних (A и B).

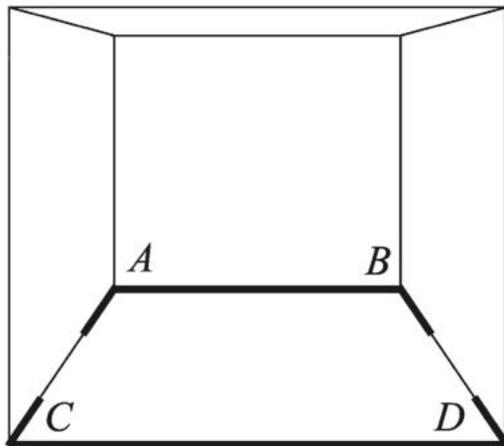


Рис. 59. Ближняя и дальняя грани куба

В соответствии с эффектом перспективы, дальняя грань куба должна быть изображена короче ближней, хотя у куба все грани равны. Поэтому при построении мозгом глубины рисунка, отрезок со сходящимися стрелками представляется короче, а отрезок с расходящимися стрелками – длиннее. На рис. 60 горизонтальные отрезки одинаковы, но расходящиеся концы делают верхние отрезки длиннее.

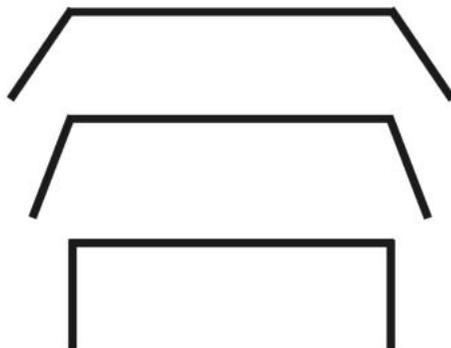


Рис. 60. Иллюзия расходящихся отрезков

В пользу «углового» объяснения иллюзии Мюллера-Лайера говорят также исследования психологов, показавшие, что представители народностей, имеющих в окружении мало прямоугольных зданий, менее восприимчивы к этой иллюзии.

Иллюзия Мюллера-Лайера может иметь разные формы. Следующая иллюзия (рис. 61) похожа на иллюзию Мюллера-Лайера. Отрезок AB кажется длиннее отрезка CD , хотя на самом деле они равны. Эта иллюзия возникает, поскольку от отрезка AB идут расходящиеся линии (углы A и B тупые), а от CD – сужающиеся (углы C и D острые).

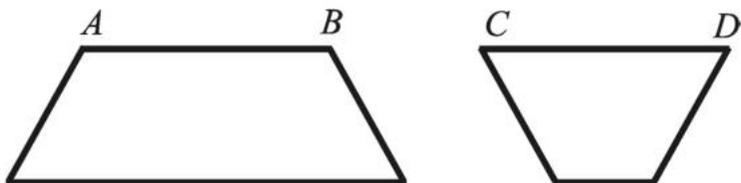


Рис. 61. Иллюзия расходящихся отрезков

Примеры подобных иллюзий можно продолжать. Важно, что ошибки зрения в этом случае во многом связаны с тем, что все представленные фигуры – плоские, а наше зрение призвано наблюдать и анализировать объемный мир.

12. ИЛЛЮЗИЯ ВЕРТИКАЛИ

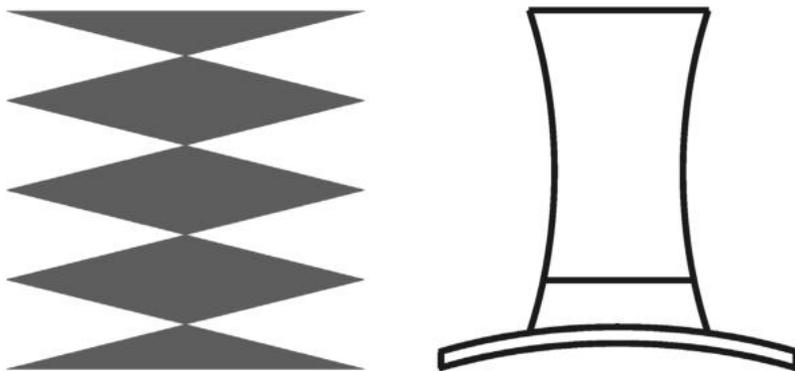
На рис. 62 представлена иллюзия, обнаруженная немецкими физиками Опшелем и Кундтом в 1863 г. Это, наверное, самая простая иллюзия, состоящая всего из двух линий – вертикальной и горизонтальной. Линии на рис. 62 (слева) равны по длине, но вертикальная кажется длиннее. Чтобы оценить «силу» иллюзии, на рис. 62 (справа) показаны две линии, которые кажутся равными по длине. Приложив линейку, можно убедиться, что вертикальная линия на четверть (!) короче.

Одно из объяснений иллюзии состоит в том, что мозг сравнивает

вертикальную линию с половинками горизонтальной линии. Поскольку половинки короче вертикальной линии, то она кажется длиннее, чем на самом деле. Но, кроме того, нашему сознанию вообще свойственно видеть вертикальные размеры крупнее горизонтальных. Например, на рис. 63 кажется, что высоты фигур (гармошка и шляпа) больше, чем их ширины, хотя на самом деле они равны.



*Рис. 62. Иллюзия Оттеля – Кундта.
Одинаковы ли длины вертикальной и горизонтальной линий?*



*Рис. 63. Варианты иллюзии Оттеля – Кундта.
Одинаковы ли высоты и ширины фигур?*

Другое объяснение этой иллюзии – стремление нашего мозга строить объёмные изображения. Действительно, если бы фигура на рис. 62 находилась бы не в плоскости рисунка, а лежала на земле, то её длина AE на самом деле была бы больше её ширины CD , как показано на рис. 64. Но если бы мы захотели её нарисовать на вертикальном листе бумаги, то видимая высота AB была бы равна ширине CD .

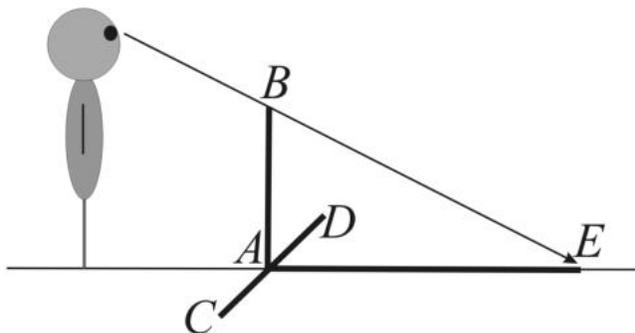


Рис. 64. Объяснение иллюзии Опделя – Кундта

В изображении «шляпы» на рис. 63, справа, проявляется ещё одна иллюзия. Большинство зрителей полагает, что длина горизонтальной линии равна половине ширины «шляпы», хотя на самом деле она короче, а верх «шляпы» как раз равен половине её ширины. Ошибка нашего мозга при определении половины, трети и др. частей длины связана, видимо, с тем, что нашему зрению в обычных условиях нужно было уметь сравнивать длины и определять какие предметы ближе, а оценивать половину расстояний практического смысла не имело.

Заметим, что вертикальная линия кажется длиннее горизонтальной, если она одна. Если линий много, то наблюдается противоположный эффект! На рис. 65 изображены вертикальные и горизонтальные полоски, образующие квадраты. Однако кажется, что фигура с горизонтальными полосками выше и уже, чем фигура с вертикальными. Это явление обнаружил немецкий физик, врач и психолог Герман фон Гельмгольц (*Hermann von Helmholtz*, 1821 – 1894).

Объяснение этой иллюзии заключается в том, что наш взгляд видит заполненный объект шире, чем незаполненный. На рис. 66 расстояния AB и BC равны, хотя AB кажется больше. Иллюзия заполненного отрезка была обнаружена также Оппелем и Кундтом.

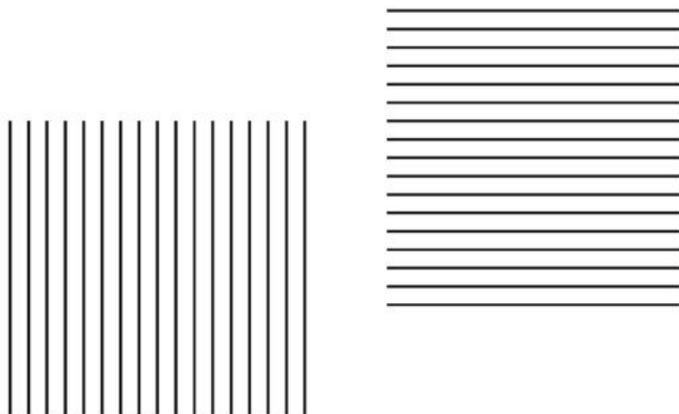


Рис. 65. Являются ли эти фигуры квадратами?
Какая из них выше или шире?

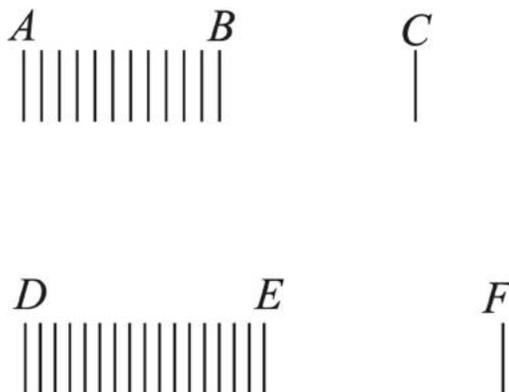


Рис. 66. Еще одна иллюзия Оппеля – Кундта.
Одинаковы ли длины отрезков AB и BC ? А длины DE и EF ?

Заметим, что сила иллюзии зависит от числа полосок, заполняющих отрезок. Исследования психологов показали, что максимальный эффект достигается при числе полосок примерно от 5 до 10. Дальнейшее увеличение числа полосок приводит к уменьшению эффекта. Длины отрезков DE и EF на рис. 66 равны и на взгляд они также примерно одинаковы.

Возможное объяснение иллюзии заполненного отрезка также связано со стремлением мозга видеть мир объёмным. Частотол вертикальных линий воспринимается нашим подсознанием, как будто они удаляются от нас подобно столбам вдоль дороги, пусть даже их размер при этом не меняется. В этом случае, расстояние AB действительно больше, чем BC . Если линий слишком много, то они уже начинают восприниматься как единое целое, а не как отдельно стоящие столбы у дороги.

13. ИЛЛЮЗИЯ ОКРУЖЕНИЯ – СДВИГ ЛИНИИ

Одна из самых старых иллюзий, открытая немецким физиком Иоганном Поггендорфом (*Johann Poggenдорф*, 1796 – 1877) в 1850-ые годы, состоит всего из 4-х линий. Кажется, что линии A и C на рис. 67 лежат на одной прямой, хотя на самом деле на одной прямой лежат B и C . Сила иллюзии уменьшается с изменением угла наклона прямых, и полностью исчезает, когда линии взаимно перпендикулярны, как показано на рис. 68.

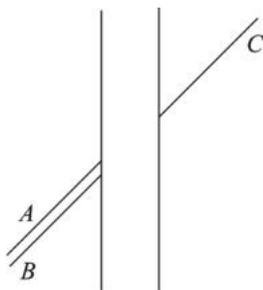


Рис. 67. Иллюзия Поггендорфа.

Какая линия является продолжением линии C : A или B ?

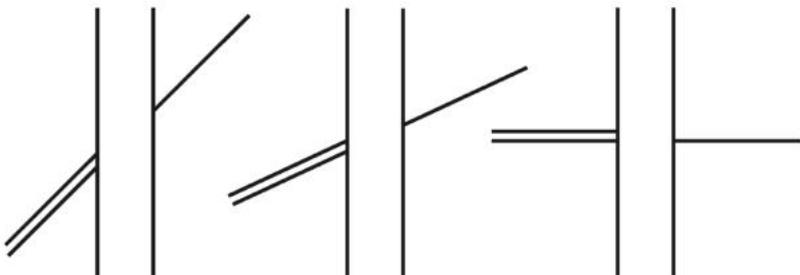


Рис. 68. Исчезновение иллюзии при уменьшении наклона линий

Иллюзия так же ослабевает с уменьшением промежутка между прямыми B и C , как показано на рис. 69.

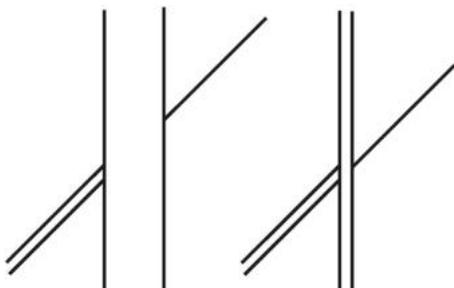


Рис. 69. Исчезновение иллюзии при сближении линий

Возможно, эта иллюзия связана с предыдущей – наш мозг считает вертикальные размеры больше, чем горизонтальные. Чтобы понять продолжением какой линии является линия C , наш мозг должен оценить соотношение горизонтальных и вертикальных размеров. Пусть прямые пересекают вертикальные отрезки под углом 45° (см. рис. 70). Поскольку на самом деле прямая CD является продолжением прямой BG , то треугольник GED прямоугольный равнобедренный и $|ED| = |EG|$. Но наш мозг считает вертикальные отрезки длиннее горизонтальных, т.е. отрезок $|EG|$ кажется длиннее отрезка $|ED|$, а $|EF|$ примерно равным $|ED|$. Поэтому нам и кажется, что продолжением линии CD будет линия AF .

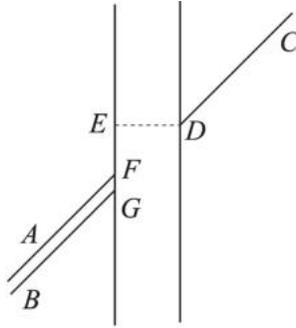


Рис. 70. К объяснению иллюзии Поггендорфа

14. ИЛЛЮЗИЯ ШТРИХОВКИ

Оптических иллюзий очень много и невозможно в одной книге рассмотреть их все. Выше мы рассмотрели уже много оптических иллюзий и ниже рассмотрим ещё. Возникает вопрос: когда у учёных появился интерес к исследованию оптических иллюзий? Иллюзии известны с незапамятных времён, но настоящий интерес к ним начался в 1850-е годы с работ немецкого астрофизика Иоганна Цёлльнера (*Johann Zöllner*, 1834 – 1882). Посмотрите на иллюзию, носящую его имя (рис. 71). Приложив линейку, можно убедиться, что линии на рисунке параллельны, хотя кажется, что они расходятся.

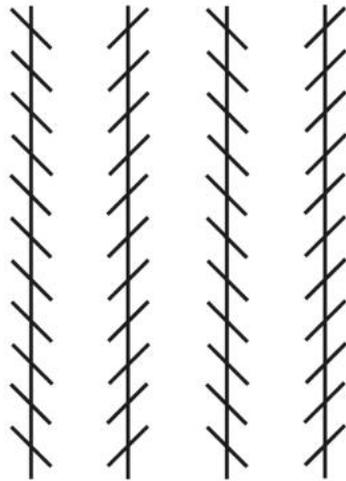


Рис. 71. Иллюзия Цёлльнера.
Параллельны ли линии?

Как нередко бывает в науке, иллюзия Цёлльнера была открыта случайно – он увидел её на раскрашенной материи. Конечно, эту

иллюзию видел не только Цёлльнер. Но, поскольку, он был человеком науки, то счёл необходимым опубликовать свои наблюдения, чтобы обратить на них внимание научного сообщества. После этого подобные наблюдения стали публиковать и другие учёные.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

В науке имеет ценность только то, что опубликовано. Поэтому, если Вы провели исследование и получили интересные результаты, то обязательно расскажите о них научному сообществу, например, на конференции школьных проектно-исследовательских работ.

Несмотря на то, что иллюзия Цёлльнера была открыта очень давно, общепринятого объяснения до сих пор нет. Возможная причина иллюзии – уже знакомое нам стремление мозга представлять мир объёмным. Если мысленно продолжить штриховку, то получится, что длинные линии лежат на сторонах двухгранного угла. При этом мы смотрим на угол сверху, как будто на открытую книгу. Далее вступают в силу законы перспективы, которые представляют параллельные линии сходящимися вдаль, как показано на рис. 72. В пользу объёмного объяснения иллюзии говорит тот факт, что если наклонить книгу и посмотреть на рис. 71 *вдоль листа*, то иллюзия пропадает.



Рис. 72.

*К объяснению иллюзии
Цёлльнера*

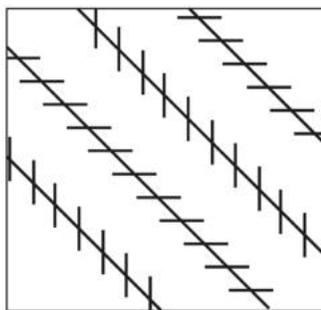


Рис. 73.

*Иллюзия Цёлльнера в представлении
Геринга*

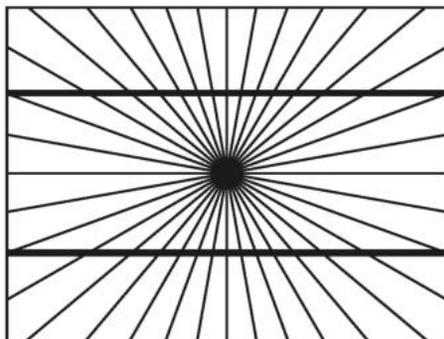
Линии не обязательно должны быть вертикальными. Немецкий физиолог Карл Геринг (*Carl Hering*, 1834 – 1918) обнаружил, что иллюзия сохраняется и для наклонных линий, как показано на рис. 73.

Если штрихи меняют угол, то кажется, что линии искривляются, как показано на рис. 74.



*Рис. 74. Ещё вариант иллюзии Цёлльнера.
Линии прямые или изгибаются?*

Карл Геринг также обнаружил, что, если вместо штрихов использовать расходящиеся отрезки, то параллельные линии искривляются, как показано на рис. 75.



*Рис. 75. Иллюзия Геринга.
Горизонтальные линии прямые или искривлены?*

Аналогичную иллюзию с расходящимися отрезками описал Вильгельм Вундт в 1858 г. (рис. 76)

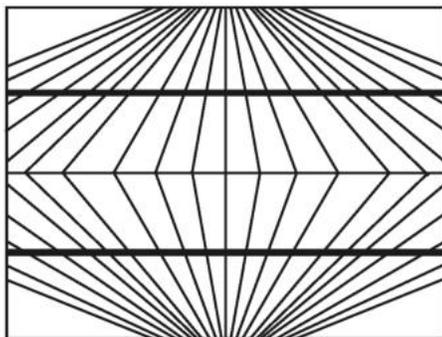


Рис. 76. Иллюзия Вундта.

А здесь горизонтальные линии прямые?

И ещё одна классическая иллюзия на ту же тему немецкого психолога Уолтера Эренштейна (*Walter Ehrenstein*, 1899 – 1961), предложенная им в 1921 г. (рис. 77).

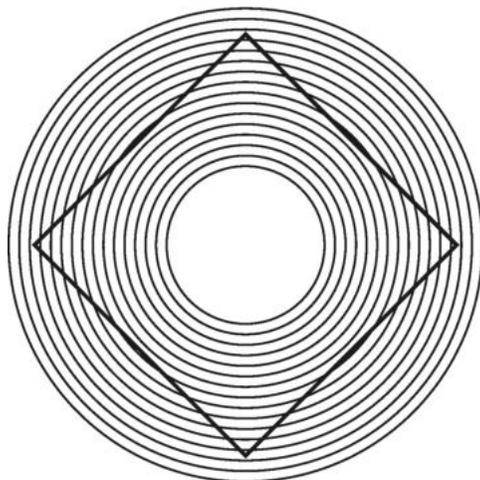


Рис. 77. Иллюзия Эренштейна.

Стороны у квадрата прямые или изогнуты?

Возможное объяснение этих иллюзий – это уже знакомое нам стремление мозга видеть мир объёмным. На рис. 75 расходящиеся линии формируют перспективу – кажется, что мы находимся внутри большой трубы. На рис. 77 ту же иллюзию трубы создают уменьшающиеся окружности. На рис. 76 мы невольно представляем себе, что перед нами два соединённых конуса. Но горизонтальные линии на цилиндрической и на конической поверхности не могут быть прямыми.

Для возникновения иллюзии штрихи не обязательно должны быть снаружи. Наш мозг в поисках глубины изображения, довольствуется любым намёком на перспективу. Если полосы широкие, то штриховка может быть внутри, как показано на рис. 78.

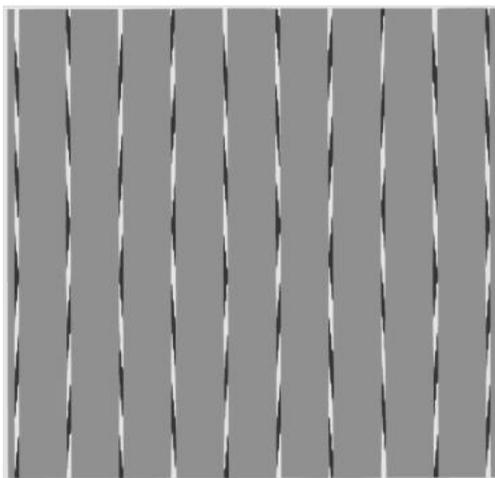


Рис. 78. Вертикальные линии параллельны или изогнуты?



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Не определяйте параллельность линий «на глаз», особенно на чертежах. Проверяйте параллельность линейкой.

15. ИЛЛЮЗИЯ «СТЕНА КАФЕ» (CAFE WALL)

Иллюзия «стена кафе» была описана британским психологом Джеймсом Фрейзером (*James Fraser*, 1863 – 1936) в 1908 г.

Посмотрите на рис. 79. Кажется, что линии между квадратами изогнуты, хотя они строго горизонтальны. Эта иллюзия напоминает предыдущую, только вместо штрихов глаз «сбивает с толку» неровные ряды квадратов.

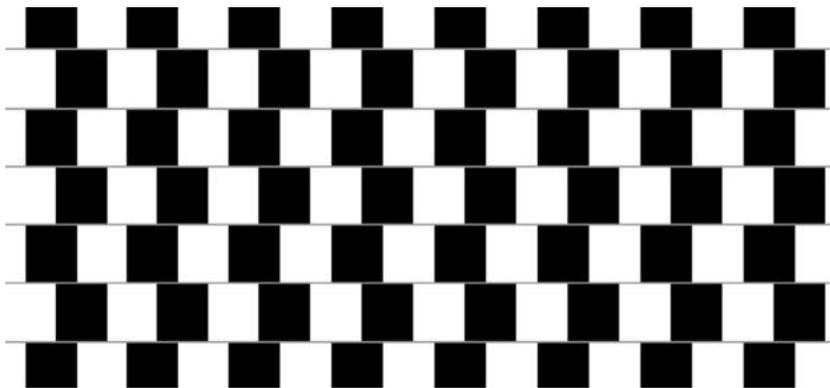


Рис. 79. Иллюзия «стена кафе». Параллельны ли линии?

Можно ли объяснить наклон линий желанием мозга построить объёмное изображение, ведь здесь нет штрихов, указывающих на перспективу? Возможное объяснение иллюзии – в реальном мире нам редко встречаются неровные ряды плоских квадратов. Мозг пытается увидеть объёмную фигуру. Можно сгладить ряды квадратов в изгибающиеся толстые линии и представить, что эти толстые линии изгибаются, потому что нанесены на неровную бугристую поверхность. В этом случае тонкие прямые линии на бугристой поверхности прямыми не будут.

Иллюзию можно увидеть в разных вариантах, как, например, на рис. 80.

Название иллюзии произошло от одного кафе в Бристоле (Великобритания), на стене которого нарисованы белые и чёрные квадраты (рис. 81). Сейчас со стенами – иллюзией построено

большое здание таможни в Мельбурне (Австралия), которое показано на цв. рис. 82.

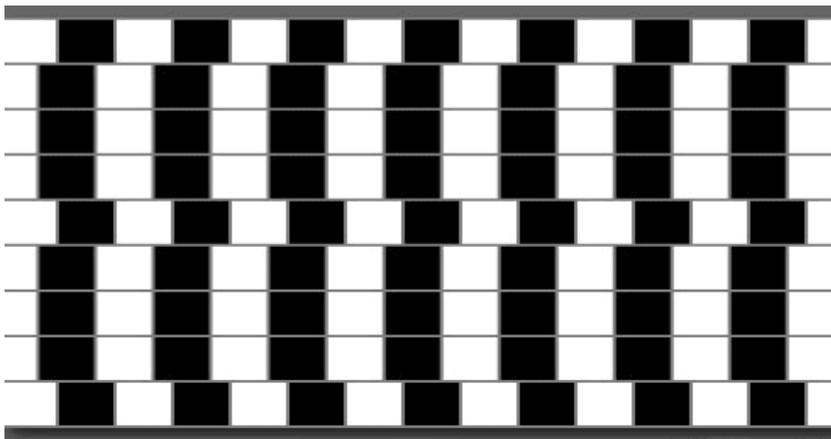


Рис. 80. Другой вариант иллюзии «стена кафе»



Рис. 81. Иллюзия на стене кафе в Бристоле

Стремление нашего мозга придавать плоской поверхности изогнутость очень хорошо заметно на следующей иллюзии (рис. 83). Перед нами просто большая «шахматная доска». Но многочисленные точки – даже не штрихи – создают видимость изогнутости доски. Это ещё раз подтверждает гипотезу, что нашему мозгу не нужны линии для построения перспективы, он использует любые намёки – штрихи, пунктир, точки...

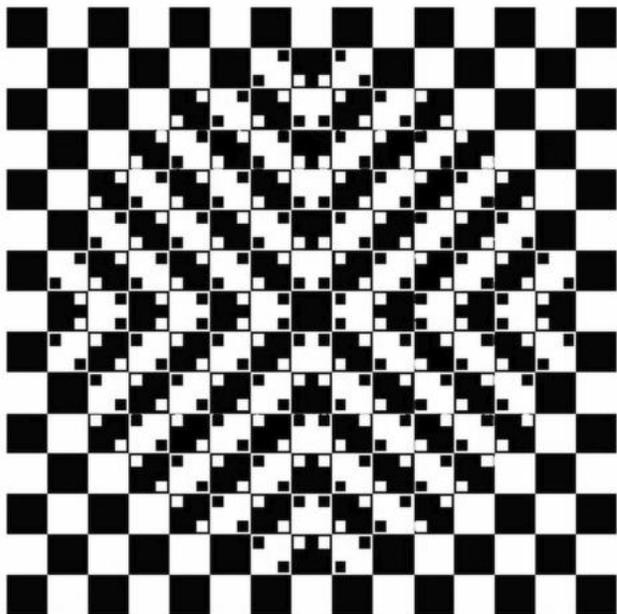


Рис. 83. Шахматная доска изогнута? Вы уверены?

На следующем фото (цв. рис. 84) хорошо видно, что изменение глубины поверхности порождает иллюзию изогнутой линии. Посмотрите на линию, разделяющую верхние этажи одного здания в Мехико (Мексика). Издалека кажется, что эта линия неровная и «гуляет» вверх – вниз. Интересно, удобно ли жителям этого дома стоять на таких горбатых балконах? Но на фото вблизи здания (цв. рис. 85) видно, в чём здесь дело. Полы балконов горизонтальны, а меняется глубина балконов, что издалека создаёт иллюзию горбатых балконов.

16. ИЛЛЮЗИЯ КОЛЕЦ

Искажаться могут не только прямые линии, но и окружности. Посмотрите на рис. 86. Что Вы видите? Обычно здесь видят спираль на фоне сходящихся к центру полос!

Но на самом деле, спирали нет! Перед нами концентрические окружности!

Эта иллюзия была обнаружена Джеймсом Фрейзером. Так же, как и в иллюзии «стены кафе», наш мозг «сбивает с толку» искривлённые линии. Эффект «превращения» окружностей в спирали достигается ещё и за счет внутренней штриховки окружностей.

Почему наше зрение нас подвело? Даже если представить, что мы смотрим не на плоский рисунок, а на уходящий вдаль конус, это не объясняет, почему мы видим не окружности, а спираль.

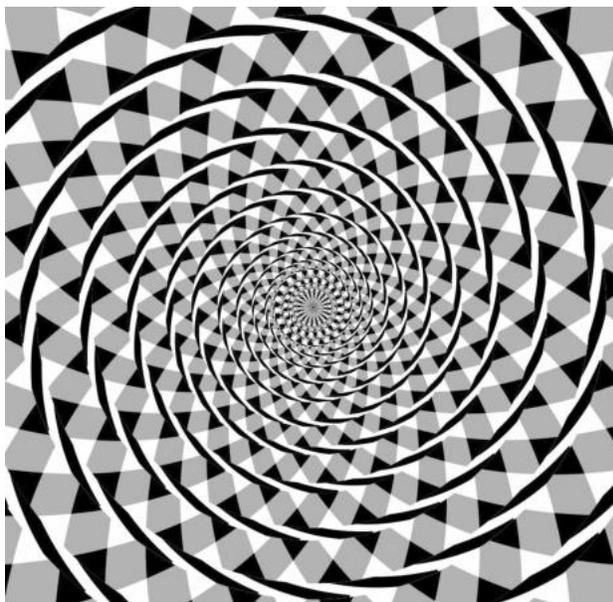


Рис. 86. Спираль Фрейзера

Возможно, здесь дело в другой особенности нашего зрения – мгновенно схватывать картину в целом, о чём подробнее мы поговорим ниже. Наш мозг не утруждает себя долгим блужданием вдоль линии, а оценивает симметричность картины. Мозг ожидает, что концентрические окружности образуют центрально-симметричную картину, как показано на цв. рис. 87. На рисунке видно, что окружности пересекают обе стороны треугольных сегментов под одинаковыми углами.

В иллюзии Фрейзера симметрия нарушена – окружности пересекают изгибающиеся линии под разными углами. Поэтому при первом взгляде на рисунок наш мозг считает, что окружности приближаются к центру (или удаляются от центра). Кроме того, внутри окружностей есть штриховка (чёрные и белые линии), которая «путает» глаз, как мы уже видели на рис. 78.

На следующем рисунке (цв. рис. 88) многие видят кубики, сложенные в спираль. Но и здесь спирали нет! Кубики сложены в концентрические окружности! Эта иллюзия похожа на предыдущую. Здесь нас «сбивает с толку» то, что на картине нет центральной симметрии: кубики повернуты по отношению к ожидаемому симметричному положению, когда их стороны смотрят на центр. Наш взгляд следует направлению кубиков, поворачивая вслед за ними. Поэтому нам и кажется, что кубики завёрнуты в спираль.

Спирали видны лишь при первом взгляде на картину. Если внимательно проследить взглядом за кубиками, становится ясно, что они уложены в окружности.

Пусть нас не расстраивает, что наш глаз ошибся – ведь наше выживание не зависит от того, являются ли линии окружностями или спиралью. Ниже мы подробнее обсудим удивительную способность нашего мозга сначала быстро схватывать рисунок в целом, и лишь затем рассматривать детали.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Не определяйте «на глаз», являются ли линии окружностями.

17. ИЛЛЮЗИЯ ДУГ ОКРУЖНОСТЕЙ

Посмотрите на рис. 89. На нём изображена половина окружности и дуги ещё двух окружностей. Кажется, что нижние дуги принадлежат окружностям большего радиуса. На самом деле, на рисунке изображены три дуги одной окружности!

Почему мы ошиблись? Видимо, у нашего мозга нет врождённой способности «дорисовывать» дуги до целых окружностей. Наше выживание не зависит от того, насколько точно мы оценим радиус окружности. Поэтому мы оцениваем кривизну (радиус) окружности по тому, насколько пологой является дуга, т.е. по разнице направлений начала и конца дуги.



Рис. 89. Сравните радиусы окружностей, у какой больше?



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Радиус кривизны дуг нужно **ИЗМЕРЯТЬ**, а не оценивать «на глаз».

18. ИЛЛЮЗИЯ ПЛОЩАДЕЙ

Посмотрите на фото (цв. рис. 90). В углу – маленькая врезка: та же фотография, но в уменьшенном виде. Оцените на глаз: во сколько раз сторона маленького фото меньше большого? Теперь возьмите линейку и убедитесь, что сторона маленького фото ровно в три раза меньше стороны большого.

Сильно ли Вы ошиблись? Обычно кажется, что маленькое фото

намного меньше, чем на самом деле. Почему?

При определении отношения площадей нужно помнить, что если каждую сторону прямоугольника уменьшить в три раза, то его площадь уменьшится в девять раз! Поэтому площадь врезки в девять раз меньше площади основной фотографии.

Еще сильнее мы ошибаемся при определении отношения объёмов. Если сторону куба (параллелепипеда) уменьшить в три раза, то его объём уменьшится в 27 раз!

Сможете ли Вы сообразить: во сколько раз нужно уменьшить сторону куба, чтобы его объём уменьшился бы в два раза? Ответ: чтобы объём куба уменьшился бы в два раза, нужно, чтобы его сторона составляла примерно 0,8 стороны исходного куба.

Также легко ошибиться, определяя площади или объёмы фигур сложной формы. Посмотрите на рис. 91. Трудно поверить, но площадь белого квадрата равна площади заштрихованной части. Ещё сильнее иллюзия проявляется, если сравниваемые фигуры разделить. На рис. 92. площади заштрихованных фигур равны.

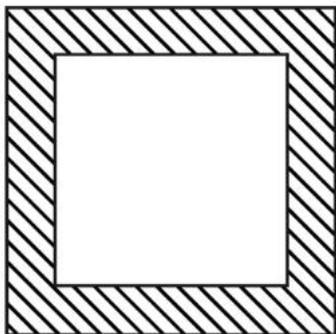


Рис. 91.

Площадь квадрата равна площади заштрихованной части.

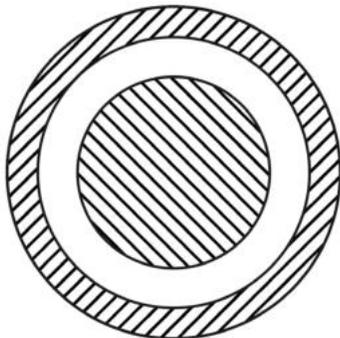


Рис. 92.

Равны ли площади заштрихованных фигур?

Является ли неточность оценки отношений размеров свидетельством несовершенства нашего мозга? Чтобы формировать объёмное

изображение, нашему мозгу нужно определять какие предметы ближе, какие дальше. Для этого мозг сравнивает размеры предметов: какие больше, какие меньше. Но вот определять во сколько раз больше, особой необходимости нет. Поэтому у нашего мозга нет врождённой способности к точному определению пропорций. Впрочем, огорчаться здесь незачем – глазомер можно (и полезно!) развивать.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Чтобы определить площадь или объёмы фигур, их следует **ИЗМЕРЯТЬ** и **ВЫЧИСЛЯТЬ**, а не оценивать «на глаз».

19. ИЛЛЮЗИЯ «СЛЕПОГО ПЯТНА»

Увидеть эффект «слепого пятна» можно в следующей иллюзии (рис. 93).

Поставьте книгу с рисунком вертикально и посмотрите на него только правым глазом. Чтобы не напрягать зрение, левый глаз лучше не зажмуривать, а закрыть рукой. Сосредоточьте взгляд на звёздочке – для этого нужно постараться получше её рассмотреть. Теперь медленно приближайте и удаляйте лицо от рисунка. В некоторый момент темное пятно справа исчезнет, и Вы увидите просто две чёрные окружности на белом фоне.

Переверните книгу вверх ногами или сделайте аналогичный рисунок, поменяв местами кружки и звёздочку. Тогда Вы сможете наблюдать эффект «слепого пятна» для левого глаза.

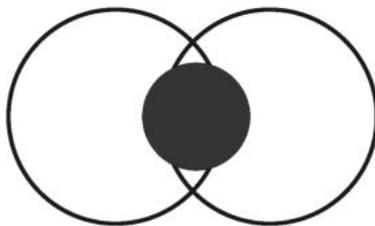


Рис. 93. Иллюзия слепого пятна

Этот эффект открыл в 1668 г. известный французский физик Эдм Мариотт (*Edme Mariotte*, 1620 – 1684). В школьном курсе физики Мариотт известен, как один из авторов первого газового закона (закон Бойля – Мариотта). Эффект слепого пятна вызван тем, что в одном месте сетчатки зрительных клеток нет. В этом месте к сетчатке подходит глазной нерв. В отличие от предыдущих иллюзий, связанных с удивительными способностями нашего мозга, иллюзию слепого пятна можно считать несовершенством нашего глаза. Впрочем, огорчаться не следует.

Во-первых, иллюзия слепого пятна не возникает, когда мы смотрим на мир двумя глазами. Области слепого пятна у наших глаз находятся в разных местах (симметрично относительно центра лица), поэтому каждый глаз видит объекты в области слепого пятна другого глаза.

Во-вторых, иллюзию слепого пятна сложно заметить даже, когда мы смотрим на мир одним глазом. Область слепого пятна очень мала, и переводя глаз с одного объекта на другой, т.е. двигая зрачком, мы восполняем область слепого пятна, а наш мозг запоминает, что находилось в области слепого пятна, и «дорисовывает» недостающее изображение. В приведенном выше эксперименте большинство на месте тёмного пятна видит не белое пятно, а две окружности. На самом деле окружностей нет, но мозг сам «дорисовывает» изображение, чтобы получить привычные объекты. Поэтому вряд ли Вы замечали этот недостаток зрения до того, как прочитали о нём. Люди тысячелетиями не замечали слепого пятна, пока его не обнаружили в 1668 г.



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Придворные без головы**

Открывший иллюзию слепого пятна Мариотт использовал его для весьма оригинальной забавы короля Людовика XIV и его придворных. Он подбирал такое положение придворных, чтобы их головы оказывались в области слепого пятна, и придворные казались королю или другим придворным без головы.

20. БИНОКУЛЯРНОЕ ЗРЕНИЕ

У человека два глаза. Казалось бы, что сигналы, передаваемые от двух глаз должны формировать два изображения. Однако мы воспринимаем только одно изображение. Почему так происходит?

Наш мозг является уникальным вычислительным инструментом. Он всё время, каждую секунду (реально – много раз в секунду) обрабатывает принимаемые от сетчаток нервные импульсы, формируя одно изображение.

Зачем же нам тогда два глаза?

Интересно, что человек и животные по-разному используют наличие двух глаз. На цв. рис. 94 изображены области пространства, которые видят глаза птиц. У птиц глаза расположены по бокам, направлены в разные стороны и осматривают практически всё пространство. При этом области, видимые каждым глазом, перекрывают друг друга лишь в небольшой области впереди себя (выделено на цв. рис. 94 тёмным цветом). Это позволяет птице видеть практически всё вокруг себя, не поворачивая головы.

Примерно так же осматривают всё пространство вокруг себя рыбы, пресмыкающиеся и большинство млекопитающих.

У человека, приматов, тигров, львов и некоторых др. млекопитающих глаза расположены так, что оба глаза смотрят вперед, причём области обзора правого и левого глаза, практически полностью перекрываются, как показано на цв. рис. 95. Такое зрение называется *бинокулярным* (от лат. *bini* – «два» и *oculus* – «глаз»).

Казалось бы, человек и др. животные с бинокулярным зрением оказываются в проигрыше – ведь к ним можно подкрасться сзади. Но, раз сформировалось такое расположение глаз, значит, к тому есть веские причины. Какие преимущества имеют животные с бинокулярным зрением? Их, по крайней мере, четыре.

Во-первых, бинокулярное зрение позволяет видеть мир *объёмным*. Ведь правый и левый глаз видят мир по-разному. Мозг обрабатывает эту информацию и формирует одно видение мира. Мы видим мир

так, как он выглядел бы, если бы у нас был один глаз, расположенный посередине.

Чтобы оценить огромную работу мозга по совмещению изображений, видимых правым и левым глазом, попробуйте провести следующий эксперимент. Поднесите к лицу кисть правой руки так, чтобы пальцы располагались вертикально, большой палец касался носа, а ладонь при этом не должна закрывать глаза. Закройте правый глаз. Ладонь закрывает половину обзора левого глаза. Откройте правый глаз и закройте левый. Тыльная сторона кисти закрывает половину обзора левого глаза. А теперь откройте оба глаза. Вы будете прекрасно видеть всё впереди себя. Мозг автоматически соединил изображения, видимые правым и левым глазом. Ваша кисть Вам уже не мешает. Более того, Вы её просто не будете замечать.

Эксперимент можно даже не проводить, достаточно вспомнить, что обычно Вы не замечаете кончик своего носа. Но если посмотреть только левым или только правым глазом, кончик носа обычно удастся увидеть.

Во-вторых, бинокулярное зрение позволяет определять расстояние до предметов и их размеры. Как это происходит, можно понять, решив следующую задачу, из сборника «Всероссийские олимпиады по физике» (под ред. С.М. Козела и В.П. Слободянина, М.: «Вербум-М», 2002). Если Вы ещё учитесь в средней школе и не изучали основ тригонометрии, то можно задачу пропустить.

9.28. На столе стоят две одинаковые шахматные фигуры. Учащийся посмотрел на фигуры попеременно левым глазом и правым, не изменяя положения головы и держа её так, чтобы фигуры были на одном уровне с глазами. Затем он зарисовал изображения, получившиеся при взгляде одним и другим глазом (рис. 96). Определите высоту фигур. Можно считать, что все видимые углы малы и для них справедливы утверждения, что $\sin \varphi \approx \varphi$ и $\cos \varphi \approx 1$. Расстояние между глазами примите равным 65 мм. При решении задачи можно пользоваться измерительной линейкой.



Рис. 96. К условию задачи со стереоизображением

Решение задачи приводится в Приложении 1.

Военные для определения точных расстояний до объекта пользуются стереотрубой (рис. 97). Оба наблюдательных «глаза» стереотрубы разнесены на большое расстояние. Чем сильнее разнесены трубы, тем точнее можно определять расстояния до удалённых объектов. Глаза у человека разнесены всего на несколько сантиметров, поэтому определять расстояние до предметов бинокулярное зрение позволяет только на близком расстоянии, всего несколько метров. Впрочем, это тоже немало, особенно если нужно поймать (или отбить) теннисный мяч, отскочить от падающего кокоса или в прыжке ухватиться за лиану. Попробуйте поиграть в большой или настольный теннис, закрыв один глаз (лучше не зажимать, а завязать). Вы увидите, насколько сложно станет попасть по мячу. Но с другой стороны, даже одним глазом мы видим мир объёмным. Мы можем оценивать расстояние до объектов, определяя какой объект за каким расположен, используя эффект перспективы, освещенности и др. Кроме того, мы можем представлять мир объёмным при рассматривании картин и фотографий одним глазом.

В-третьих, бинокулярное зрение позволяет преодолеть проблему «слепого пятна», о котором мы писали выше.

Четвертое преимущество бинокулярного зрения, возможно, самое главное, с точки зрения выживания в первобытном мире – возможность наблюдать через заросли: ветви деревьев, кустарник, высокую траву...

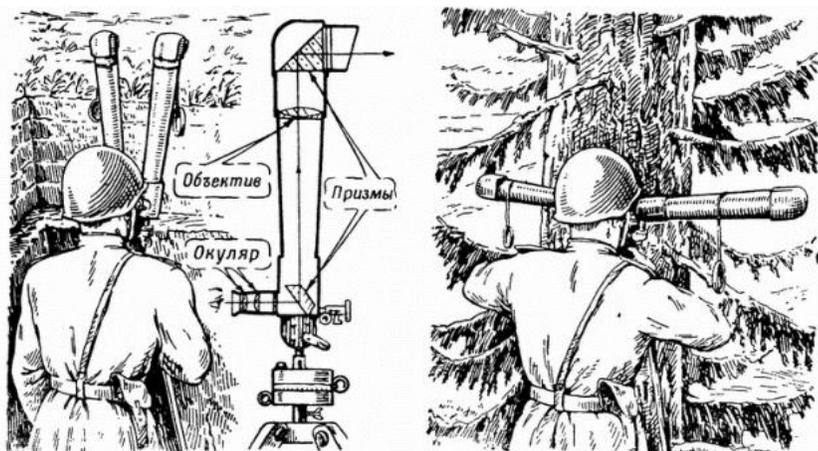


Рис. 97. Стереотруба

Можно провести такой эксперимент: Пусть один человек читает книгу, а второй начинает медленно водить карандашом в нескольких сантиметрах от глаз чтеца (карандаш всё время сохраняет вертикальное положение). Чтец может спокойно продолжить чтение, несмотря на возникающее препятствие. Те буквы, которые закрывает карандаш для одного глаза, видны вторым.

Когда мы смотрим на окружающий мир из засады: из-за кустов, спрятавшись в кроне деревьев и т.д., мы вскоре перестаем обращать внимание на ветки и мелкие листья – мир виден, как будто их нет. У львов, ягуаров и др. хищников оба глаза расположены впереди и смотрят вперед, т.е. у них бинокулярное зрение. Это позволяет подкарауливать жертву, находясь в засаде. У антилоп, зебр и др. травоядных глаза расположены по бокам, у них область бинокулярного зрения мала – ведь им не нужно подстергать в засаде жертву – им нужно как можно раньше увидеть хищника и спастись бегством.

Но зачем же бинокулярное зрение обезьянам – разве они хищники? Действительно, шимпанзе мы обычно не относим к хищникам, но они охотятся за белками и даже за мелкими обезьянами в кроне деревьев, так что бинокулярное зрение им также очень полезно.

Благодаря бинокулярному зрению мы можем смотреть «сквозь пальцы», не в переносном, а в самом прямом смысле. Растопырьте пальцы и поместите их на расстоянии нескольких сантиметров от глаз. Мы всё равно видим комнату за пальцами. Эффект усилится, если пальцы медленно перемещать из стороны в стороны. Присмотревшись, можно обнаружить, что мы *одновременно* видим и пальцы, и то, что за пальцами.

На свойстве бинокулярного зрения основана иллюзия «дыра в ладони» (опыт Соколова). Сверните лист бумаги трубочкой и посмотрите через неё одним глазом. Нацельтесь на наблюдение вдаль и закройте ладонью второй глаз как показано на рис. 98. За счет бинокулярного зрения изображения наложатся друг на друга, и Вы увидите в центре ладони дырку, а через дырку видна картина, которую, на самом деле, Вы видите через трубку.

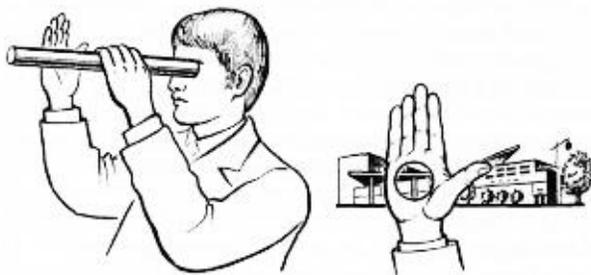


Рис. 98. Опыт Соколова

Таким образом, бинокулярное зрение помогало (и помогает) человеку выжить в экстремальных ситуациях. Пусть у нас (по сравнению с птицами и антилопами) небольшой боковой обзор, и к нам можно незаметно подкрасться сзади. Зато мы можем видеть сквозь траву и мелкую листву, точно определять расстояния до объектов (в пределах десятка метров).

К сожалению, некоторые дефекты зрения, например, косоглазие, не позволяют в полной мере воспользоваться возможностями бинокулярного зрения, однако в наше время это не страшно, ведь нам не обязательно охотиться на зверей из засады.

Заметим, что если размеры препятствия невелики, то «сквозь него» можно смотреть даже одним глазом. Например, если надеть москитную сетку (вуаль, чадру), то мелкая сетка не мешает осматривать окружающий мир. Наш мозг прекрасно дорисовывает то, что скрывает москитная сетка. Тем более, что наша голова всё время движется и то, что в данный момент закрывала сетка, будет доступно в следующее мгновение.

Получается, что человек одновременно видит и сетку и то, что за сеткой. А как Вы думаете, почему москитную сетку делают чёрной, а не белой?

Правильно. Чтобы она была менее заметной и не мешала бы осматривать окружающее пространство.



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Зрение хамелеона**

У хамелеона глаза поворачиваются независимо друг от друга, т.е. каждый глаз может смотреть в свою сторону. Когда хамелеон замечает добычу (например, муху) одним глазом, он разворачивает второй глаз так, чтобы видеть её обоими глазами. После чего хамелеон быстро выбрасывает язык (длина языка хамелеона сравнима с длиной тела) и ловит жертву присоской на конце языка. Очевидно, что поимка жертвы возможна, только если хамелеон очень точно оценивает расстояние до неё. Видимо, для этого он и наводит на жертву оба глаза.

21. СТЕРЕОКИНО

Сейчас очень популярны «3D», «4D»... и ещё много «D» кинотеатры. При входе в них выдают специальные очки и можно любоваться эффектными трюками, когда прямо перед Вашим носом щёлкают зубы динозавра, проносятся автомобили, вертолёты, самолёты...

Как в «3D» кинотеатрах добиваются такого сильного эффекта объёмности? И что это за очки?

Эффект объёмности возникает благодаря бинокулярному зрению. На фотографиях мир представлен так, как будто мы смотрим на него одним глазом. Чтобы остановить мгновение, посмотрев на мир двумя глазами, нужно сделать стереопару. Стереопара – это два фото, которые одновременно сделаны с тех мест, где расположены правый и левый глаз наблюдателя. Мы уже видели стереопару на рис. 96 (шахматные фигурки).

Вы без труда можете сделать стереопару сами. Сфотографируйте какой-нибудь предмет. Предмет не должен быть очень крупным.

Затем сдвиньте фотоаппарат по линейке на расстояние 6-7 см и сделайте второе фото. Сдвигать нужно по линейке параллельным переносом, даже небольшой поворот фотоаппарата приведет к искажению стереопары. Распечатайте два слайда на прозрачной плёнке. Это и будет стереопара. Для её просмотра нужно использовать несложное устройство – стереоскоп. Стереоскоп был изобретен очень давно, ещё в 1837 году английским физиком Чарльзом Уитстоном (*Charles Wheatstone*, 1802 – 1875). В школьном учебнике физики Уитстон упоминается в курсе электричества, как изобретатель «моста Уитстона». Стереоскопы показаны на цв. рис. 99.

В два отделения стереоскопа вставляют два слайда стереопары и смотрят так, чтобы каждый глаз видел только один слайд. При этом получается стереоизображение.

Чтобы сделать стереокино, нужно снимать фильм двумя видеокамерами, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга. Современная техника позволяет фильм даже не снимать, а создавать стереокино на компьютере.

Но как смотреть такой фильм? Нужно изобретать специальный стереоскоп для просмотра видео? Нет, оказывается, можно смотреть кино и на экране. На помощь приходит явление поляризации света. Открыто оно было в 1808 году французским физиком Этьеном Луи Малюсом (*Etienne Louis Malus*, 1775 – 1812) при изучении прохождения света через кристаллы.

Смысл явления поляризации можно понять из следующей

аналогии. Представьте, что Вы стреляете из лука. На конце стрелы есть перо. Обычно стреляют так, чтобы плоскость лука и тетивы была вертикальна, а плоскость пера – горизонтальна, как показано на рис. 100 (стрела №1). Но можно наклонить лук и пустить стрелу так, чтобы плоскость пера была расположена вертикально (рис. 100, стрела №2) или под произвольным углом (рис. 100, стрела №3). Свет можно представить состоящим из огромного числа стрел с разным направлением плоскости перьев. Плоскость перьев называют плоскостью поляризации.

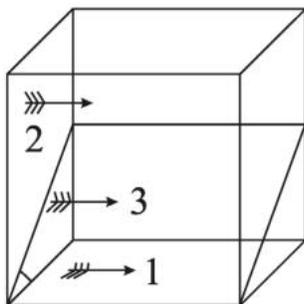


Рис. 100. Стрелы с различной ориентацией оперенья

Человеческий глаз не различает плоскости поляризации. Но существуют специальные *поляризаторы*, которые пропускают «стрелы света» только с определённой плоскостью поляризации и не пропускают с другими. Сам Малюс в качестве поляризатора использовал кристаллы исландского шпата (CaCO_3), но сейчас в основном используют синтетические поляризаторы. Поляризаторы можно купить в любом магазине фото товаров, как насадки на объективы фото или видеокамер. Но они стоят достаточно дорого. Их можно достать из старых сломанных калькуляторов, дорожных будильников и т.д.

Для этого достаточно вынуть экран – у Вас в руках поляризатор. Соедините два поляризатора – почти ничего не изменилось. Теперь поверните один из них на 90° – и прозрачные экраны вдруг станут непрозрачными, как показано на цв. рис. 101. Почему? Потому что первый поляризатор пропустит «стрелы света» только с определённой плоскостью поляризации (например, горизонтальной), а второй

поляризатор, после того как его повернули на 90° , как раз их пропускать не будет. Очки в стерео кинотеатрах – это поляризаторы, которые пропускают «стрелы света» во взаимно перпендикулярных направлениях, например, один – только с горизонтальной, а второй – только с вертикальной плоскостью поляризации.

Стереokino снимают две камеры. Значит, его должны показывать два проектора, каждый из которых будет пускать «стрелы света» своей поляризации: горизонтальной или вертикальной. Поскольку человеческий глаз не различает направления плоскости поляризации, то, изображение из каждого проектора мы будем воспринимать как обычный фильм. Но проекторов два и они расположены, как показано на рис. 102. Если смотреть фильм одновременно из двух проекторов без поляризационных очков, то мы увидим обычное изображение, только предметы на переднем плане будут двоиться. Но в очках один глаз будет видеть «стрелы света» «своей» поляризации: левый глаз только, то, что снимала левая видеокамера, а правый – правая. Вы будете видеть изображение, как будто Вы стояли на месте видеокамер и смотрели на всё своими глазами. Теперь смотрите фильм, и не пугайтесь, когда в сантиметре от Вашего носа сомкнутся челюсти – это всего лишь стереokino.

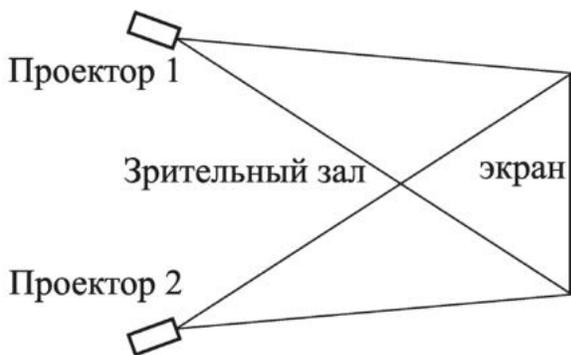


Рис. 102. Схема стереokino

ЧАСТЬ 2

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Мир каждый видит в облике ином,
И каждый прав – так много смысла в нём

Погани Гёте.

22. ТОЧКА, ТОЧКА, ЗАПЯТАЯ

Посмотрите на рис. 103. Что на нём изображено? Скорее всего, Вы скажете, что лицо человека. Таким его обычно рисуют дети: «точка, точка, запятая». На картинке всего кружочек, две точки, «запятая» и кривая дуга, но наше зрение угадывает здесь человеческое лицо: два глаза, нос, рот.

Мы уже познакомились с удивительной способностью нашего зрения упорно стремиться видеть объёмное даже там, где его нет. Другая удивительная способность нашего зрения – в любых очертаниях стремиться распознавать знакомые образы.



Рис. 103. Точка, точка, запятая

Желание распознавать образы знакомо всем с раннего детства. Когда по небу плывут белые облака, многие дети любят играть в игру: «На что похоже?», представляя, в зависимости от фантазии, что по небу плывут овечки, лошадки, машинки и пр. В старину девушки гадали: брали розги и пороли ими снег – говорят, так

можно увидеть лицо суженного. Прогресс и появление кофе привёл к гаданию на кофейной гуще – что увидишь, то и твоя судьба. Понятно, что каждый видит те образы, о которых он постоянно размышляет. Профессор Трелони постоянно думала о невзгодах и смерти, потому в кофейной гуще на блюде Гарри Поттера она увидела профиль чудовища – Грима, хотя с таким же успехом можно было увидеть цветок или дерево.

Как же формируется образ в нашем мозгу? Здесь ещё есть много загадок, но всё же наши знания позволяют понять причину возникновения некоторых иллюзий.

Вернемся к устройству глаза. Выше мы уже говорили, что функционирование глаза подобно видеокамере. Пришло время рассказать про существенную разницу между ними. Объектив видеокамеры проецирует внешний мир на светочувствительную матрицу, состоящую из миллионов элементов. При этом видеокамере всё равно, что попало на матрицу. Поэтому информация сканируется и передается на запоминающее устройство всегда одинаково: элемент за элементом, строчка за строчкой, справа – налево, сверху – вниз. Человеку далеко не всё равно, что он видит. В отличие от видеокамеры он должен эту информацию обрабатывать, причём очень быстро. Если перед человеком леопард, то, пока будет сканироваться вся информация, может обрабатывать её уже будет некому.

На сетчатке находится более ста миллионов светочувствительных клеток, называемых из-за их формы «палочками» и «колбочками» (в чём разница мы обсудим чуть позже).

Эти клетки содержат особые вещества – пигменты, которые при воздействии света вступают в химические реакции, а продукты этих реакций запускают нервные импульсы. Пигменты расположены стопками, и на место истраченных пигментов тут же поступают новые. Затем запасы пигментов постепенно восстанавливаются. Мы не будем вдаваться в детали распространения импульсов по нервам, ограничимся лишь знанием того, что чем больше интенсивность падающего света, тем больше пигмента вступает в реакцию, и тем более длительную и частую последовательность импульсов

передают светочувствительные клетки.

Идущий в мозг зрительный нерв представляет собой не один, а множество нервных волокон, формирующих «линии связи» между глазом и мозгом. Может быть, каждое нервное волокно подходит к одной клетке сетчатки: «палочке» или «колбочке»? Но тогда нервных волокон должно быть более ста миллионов! Если бы в мозг ежесекундно поступали сигналы от каждой клетки сетчатки, мозг просто не успевал бы обработать такой поток информации. Кроме того, было обнаружено, что «линий связи» в сотни раз меньше клеток сетчатки.

Как же быстро передать такой объём информации? Природа нашла изящный выход: нужно частично обрабатывать информацию ещё до поступления в мозг.

На цв. рис. 104 показано более детальное строение глаза.

Между «палочками» и «колбочками» и ведущим в мозг «линиями связи» есть ещё несколько слоёв клеток. Эти клетки совершают первичную обработку информации, поступающей от «палочек» и «колбочек», и в мозг по зрительному нерву идут сигналы от этих клеток.

Как же происходит первичная обработка информации? У человека это можно определить только косвенными методами, но у животных поток информации можно «подсмотреть». Можно хирургически подсоединиться к зрительному нерву с помощью микроэлектродов и следить за передачей нервных импульсов. Впервые такие эксперименты с лягушками провёл в 1932 г. американский физиолог Холден Хартлайн (*Haldan Hartline*, 1903 – 1983), впоследствии Нобелевский лауреат (1967). Он обнаружил, что некоторые «линии связи» реагировали на включение света, другие – наоборот, реагировали только на выключение света.

В конце 1950-х годов американские физиологи Джерри Летвин (*Jerry Lettvin*, 1920 – 2011), Умберто Матурана (*Humberto Maturana*, род. 1928), Уоррен Мак-Каллок (*Warren McCulloch*, 1898 – 1969) и Уолтер Питтс (*Walter Pitts*, 1923 – 1969) обнаружили у лягушек более сложную «интеллектуальную» обработку зрительной

информации. Выяснилось, что некоторые клетки посылают сигнал при наличии резкой границы «свет – тень», другие – если эта граница движется. Особые сигналы в мозг поступают, когда перед глазами лягушки появляется маленькое темное движущееся пятно (очевидно, реакция на муху).

Мозг у лягушки не очень велик. Мы привыкли считать лягушек примитивными существами. Насколько богаче должна быть реакция на внешние объекты у млекопитающих!

В начале 1960-х годов американские физиологи Дэвид Хьюбел (*David Hubel*, 1926 – 2013) и Торстен Визел (*Torsten Wiesel*, род. 1924), впоследствии Нобелевские лауреаты (1981), сумели «подключиться» к нервным клеткам (нейронам) зрительной системы головного мозга кошек. Для этого они ввели в клетку микроэлектрод размером в одну десятитысячную миллиметра. Исследователи обнаружили, что одни клетки мозга кошки реагируют на тонкие прямые линии, другие – когда в поле зрения попадают границы «свет – тень», угол и др. При этом одни клетки реагируют только на вертикальные линии, другие – только на горизонтальные, третьи – идущие под определённым углом. Есть клетки, которые реагируют только на движущиеся объекты.

Мозг человека намного больше мозга кошек и можно только догадываться, насколько сложен «протокол» обмена информацией!



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Витамин для глаз.**

В 1933 году Джордж Уолд (*George Wald*, 1906 – 1997) из Гарвардского университета (США) с коллегами выделил из сетчатки глаза фоточувствительный пигмент. Им оказался 11-цис-ретиноаль – производное витамина А. Нехватка витамина А вызывает «куриную слепоту» (человек плохо видит в темноте) и может привести к полной потере зрения. Поэтому для глаз полезно есть продукты с высоким содержанием витамина А, например, морковь. За открытие биохимической роли витамина А Джордж Уолд с соавторами получил в 1967 г. Нобелевскую премию.

23. ИЛЛЮЗИЯ ПОЛОС МАХА

Посмотрите на рис. 105. Что Вы видите? Скорее всего, чёрный и белый прямоугольники, разделённые несколькими полосами. Но полос нет! Яркость нарастает от черного прямоугольника к белому постепенно, а не скачками!

Это явление обнаружил в 1860-ые годы австрийский физик и философ Эрнст Мах (*Ernst Mach*, 1838 – 1916).

В чём причина этой иллюзии?

Скорее всего, иллюзия возникает, потому что зрительное восприятие человека, так же как лягушки и кошки, «настроено» на распознавание линий, т.е. границ светлого и тёмного. Это необходимо, чтобы понять, нет ли впереди контура леопарда или чего-нибудь ещё. Чтобы выделить на тёмном или сером фоне контуры, мозг усиливает контраст.

Так что очень хорошо, что возникает эта иллюзия – наш мозг всё время пытается обнаруживать и анализировать контуры, чтобы как можно скорее предупредить нас об опасности.



Рис. 105. Иллюзия полос Маха



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Такие похожие и непохожие глаза.

Глаз человека – прекрасный оптический инструмент, но все же у него есть недостатки. Чтобы попасть на светочувствительные клетки свет должен сначала пройти через слой ганглиозных клеток. При этом часть света теряется. Таким же недостатком страдают глаза всех млекопитающих, птиц, рыб и др. позвоночных. Кроме того, там, где нерв подходит к сетчатке, есть «слепое пятно».

Казалось бы, было лучше, чтобы сетчатка находилась перед ганглиозными клетками, а не за ними. Именно так устроены глаза у головоногих моллюсков: кальмаров, осьминогов, каракатиц. Нервные окончания подходят к светочувствительным клеткам за сетчаткой, и у них нет «слепого пятна».

Глаза головоногих и человека похожи, но все же отличаются тем, как происходит фокусировка света на сетчатку (рис. 106). У человека и др. млекопитающих фокусировка достигается за счет сжатия и расслабления мышцы хрусталика, а у головоногих глазные мышцы передвигают хрусталик к сетчатке и от неё. Это похоже на то, как происходит фокусировка в фотоаппарате, в нём тоже наведение на фокус достигается путём передвижения линз. Заметим, что у рыб и земноводных хрусталик также способен передвигаться.

Самые большие глаза на нашей планете у глубоководного кальмара – они могут превышать 20 см в диаметре (максимальный зафиксированный размер – 27 см). Это больше, чем у самых крупных китов («всего» 17 см в диаметре). Такие глаза ему необходимы, поскольку на большой глубине мало света. По остроте зрения глаза головоногих почти не уступают человеческим. Но, конечно, по способности обрабатывать полученную информацию, наш мозг намного превышает способности кальмаров.

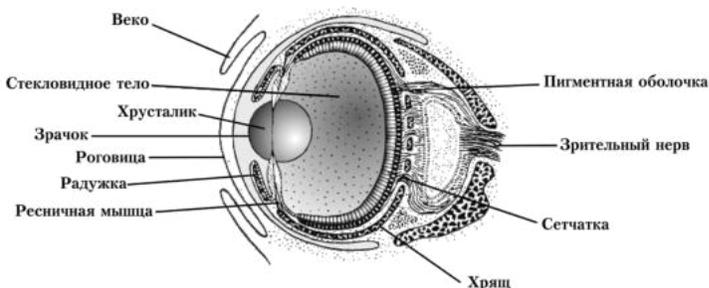


Рис. 106. Строение глаза головоногих моллюсков

24. РАССМОТРИ ВСЁ ХОРОШЕНЬКО

Но первичная обработка изображения – это не единственная удивительная способность зрения.

Зрительные клетки на сетчатке расположены неравномерно. Больше всего их по центру сетчатки, эту область называют «жёлтым пятном». Именно в эту область максимального скопления зрительных клеток попадает изображение рассматриваемого перед нами предмета.

Боковое (периферическое) зрение обеспечивается меньшим числом клеток. Если понадобится там что-то более детально разглядеть – можно развернуть туда зрачки.

Область жёлтого пятна очень мала. Поэтому неудивительно, что, разглядывая предмет, мы водим зрачками. Однако и в этом случае мы также не сканируем мир, как читаем книгу по строчкам слева – направо, сверху – вниз. Ещё в 1960-х годах советский физиолог Альфред Лукьянович Ярбус (1914 – 1986) продемонстрировал, что зрачки проделывают достаточно сложную работу, «пробегая» сначала по наиболее важным чертам объекта, а затем уже разглядывая второстепенные. Причём вся эта работа происходит на подсознательном уровне. Сознание включается уже на следующем этапе: когда зрительный образ сформирован, и нужно принимать какие-либо решения.

Зачем же такие сложности? Затем, что иногда доли секунды решают всё. Например, если глаз при первом беглом взгляде обнаружил в листве чёрные пятна на жёлтом фоне – (характерный окрас леопарда), его уже некогда детально рассматривать – нужно принимать решение: спастись бегством, хватать копьё и т.п.

Возможно, это был не леопард, а жёлтая листва, а мы на первый взгляд приняли её за леопарда. Но если это жёлтая листва, то мы потом разглядим её получше и опустим копьё. Лучше семь раз поднять ложную тревогу, чем один раз промедлить и опоздать.

Какую же зрительную информацию наш мозг считает наиболее важной?

Точного ответа здесь нет. Наблюдения за движением зрачков показывают, что взгляд больше интересуется углами и сильно искривлённые дуги окружностей, меньшее внимание уделяется прямым линиям.

Американский психолог Фред Эттнев (*Fred Attneave*, 1919 – 1991) провёл в 1954 г. эксперимент. Он предложил испытуемым отметить на рисунке лежащей кошки черты, которые, по их мнению, являются наиболее важными для опознания. Такими чертами оказались около 40 участков с сильной кривизной. Затем Эттнев соединил их прямыми линиями. Получилась фигура, показанная на рис. 107. Несмотря на то, что получившаяся «кошка» сильно отличается от обычного рисунка, большинство людей видят в фигуре именно лежащую кошку.



Рис. 107. Кошка Эттнева

25. ЗАПОМНИ ЛИЦО СВОЕЙ МАМЫ

А как мы смотрим друг на друга? Как мы смотрим на лица людей? На рис. 108 показаны результаты работ А.Л. Ярбуса по слежению за движением зрачков при рассматривании статуэтки древнеегипетской царицы Нефертити. Дольше всего взгляд задерживается на глазах, носе, губах. На всё остальное отводится меньше времени.

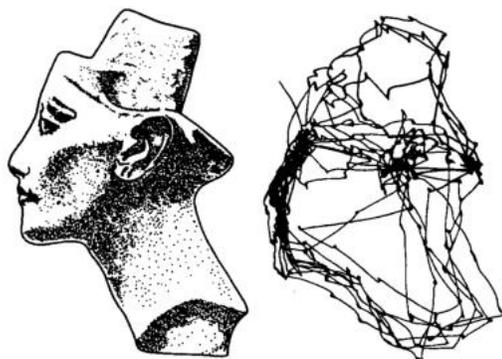


Рис. 108. Так движется наш зрачок при рассмотрении статуэтки Нефертити (по данным А.Л. Ярбуса)

Получается, что самое важное для мозга – это рассмотреть глаза, нос и губы. В этом нет ничего странного. Именно эти части лица позволяют нам узнавать знакомых людей. Но дело не только в этом. Нужно ещё всё время очень внимательно следить за настроением того, кто находится перед Вами. По мимике лица Вы определяете, дружелюбно ли расположен к Вам собеседник, нет ли у него злобы, агрессивности. Это умение необходимо и сегодня и было важно во все времена. Мимика лица, бегающие глаза и даже легкое покраснение щёк или ушей могут Вас предупредить, что человек пытается что-то скрыть, обмануть или ещё хуже – настроен к Вам враждебно.

Но ведь создание зрительного образа происходит на подсознательном уровне, следовательно, предварительный отбор информации и разглядывание лиц происходит тоже на подсознательном уровне. Как же мозг догадался, что нужно рассматривать глаза и рот?

Оказывается, что мозг знает это и не просто знает, а знает с момента нашего рождения!

Психологи решили проверить, есть ли предпочтение в разглядывании образов у младенцев. Но как это узнать – ведь младенцы ещё не умеют разговаривать?

В начале 1960-х годов американский психолог Роберт Фентц (*Robert Fantz*, 1925 – 1981) разработал технику наблюдения отражения от глаза. Младенцев помещали в люльку в специальной камере так, чтобы они спокойно лежали на спине и смотрели вверх, как показано на рис. 109. В потолке камеры было отверстие, через которое исследователь мог следить за глазами младенца, причём младенец его не видел. На потолок помещались разные предметы, и исследователи наблюдали за тем, сколько времени и на какой предмет смотрят младенцы.

В исследовании принимали участие младенцы в возрасте от четырёх дней (!) до полугода. Вначале Фентц выяснил, что дети гораздо дольше смотрят на сложные фигуры (шахматная доска и др.), чем на простые (круг, крест и др.). Затем он начал искать, имеют ли младенцы предпочтения к каким-либо формам.

Детям предлагались смотреть на круглые доски (диски) размером с человеческую голову взрослого человека. На дисках были изображены (см. цв. рис. 109):

- упрощенное изображение лица – «точка, точка, запятая»,
- обрывок листа «газеты»,
- круг с кольцом,
- однотонные диски разных цветов.

Результаты опытов представлены на рис. 109. Видно, что дети гораздо дольше смотрели на человеческое лицо, чем на другие предметы.

Таким образом, наш мозг нацелен на зрительный контакт с другими людьми. Младенец с рождения имеет информацию о том, как должно выглядеть человеческое лицо и как важно его хорошенько разглядеть.

26. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ ЦЫПЛЯТ

Зрительные образы с рождения существуют не только у людей. Эксперименты с новорожденными цыплятами показали, что они очень хорошо знают, как должны выглядеть зёрна, которых они ещё не видели. Родившихся цыплят выпускали в загон, где были расположены мелкие объекты разных форм. На рисунке показано, сколько «поклёвок» сделали цыплята с каждым предметом. Видно, что цыплята клевали в основном предметы шарообразной формы, игнорируя плоские кружочки, кубики и пр.

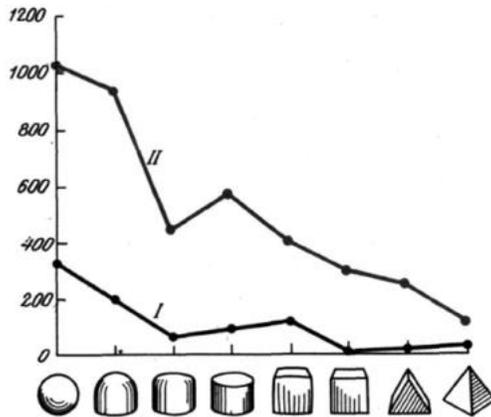


Рис. 110. *Опыты с цыплятами. Цыплята предпочитают клевать предметы шарообразной формы. Кривая I – цыплята через 10 мин. после того, как они вылупились из яйца, II – через 40 мин*

В мозгу цыплят есть также информация о том, кого нужно бояться. Новорождённые цыплята бежали прятаться под навес, когда появлялась тень сокола. Сокол, конечно, был не настоящим – на проволоке перемещали картонную фигуру сокола (короткая шея и длинный хвост). При этом, если фигуру передвигать в обратном направлении (длинная шея и короткий хвост), цыплята тени не боялись – это же профиль голубя, которого они тоже ещё не видели.

Если в голове новорождённых цыплят «записано» так много зрительной информации, то в голове человека её может быть намного больше.

Замечено, что у многих людей есть подсознательный страх перед изображением динозавров. Это хорошо знают и используют создатели многочисленных фильмов ужасов про гигантских чудовищ. Вспомните, не пробирали ли Вас дрожь, когда на экране появлялась зубастая пасть. Но ведь человечество не пересеклось с динозаврами! Они вымерли задолго до появления первых людей. Современные ящерицы вряд ли представляют серьёзную опасность для человека. Откуда же внутри нас страх перед динозаврами? Может, мы его унаследовали от очень далёких предков?

Мы познакомились только с самыми основами системы обработки зрительной информации. Посмотрим теперь, как она проявляется в оптических иллюзиях.

27. ЭФФЕКТ СЛЕДЯЩИХ ГЛАЗ

Стремление нашего мозга рассматривать человеческие лица приводит к тому, что всё связанное с лицом привлекает внимание. Перед Вами хорошо известный плакат времён гражданской войны (цв. рис. 111). Его взгляд приковывает внимание, можно сказать, пугает. Почему? Зрачки красноармейца расположены посредине глаз, так расположены зрачки, когда человек смотрит точно на нас, «в упор». Указательный палец так же направлен на нас. Эффект усиливается от того, что изображение плоское. Если бы на нас смотрела статуя, то, сделав шаг в сторону, мы увидели бы боковую часть лица и пальца, и вышли бы из-под её прицела. Но рисунок плоский: мы не можем увидеть боковую часть лица, глаза и палец на портрете всё время устремлены на нас. Создаётся впечатление, что красноармеец следит за нами. Создатели плаката выполнили свою задачу – проходя мимо плаката, мы обязательно обратим на него внимание.

Заметим, что автор этого плаката, возможно, использовал идею аналогичного плаката XIX века, призывающего в армию США (цв. рис. 112).

28. ИЛЛЮЗИЯ НЕСУЩЕСТВУЮЩИХ ФИГУР

Наш мозг всё время без устали распознает образы в любых видимых очертаниях. При этом нам вовсе не нужно напрягаться и пытаться понять, на что похож тот или иной предмет. Мы можем просто идти по улице и думать о чём-то ином, а мозг будет распознавать предметы на подсознательном уровне. Любые облака на небе, любые чёрточки на листе бумаги мозг попытается превратить в знакомые образы. И это прекрасно! Потому что без этого невозможна была никакая живопись. Ведь даже Джоконда Леонардо да Винчи – это все лишь набор цветных пятен на холсте, а не сидящая перед нами женщина.

На примере кошки Этнвива мы видели, что мозг в первую очередь стремится рассмотреть углы и дуги, прямые линии контура менее важны. Поэтому наш мозг может прямые линии «дорисовать», лишь бы получить знакомые объекты. На этом основаны иллюзии несуществующих фигур, когда наш мозг «дорисовывает» фигуры, которых на самом деле нет.

Посмотрите на классический рисунок (рис. 113), предложенный уже упоминавшимся немецким психологом Уолтером Эренштейном (*Walter Ehrenstein*, 1899 – 1961). Что Вы на нём видите?

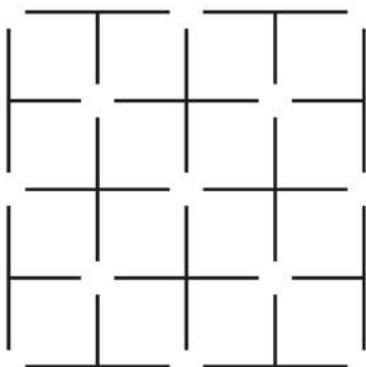


Рис. 113. Видите белые кружочки? Вы уверены?

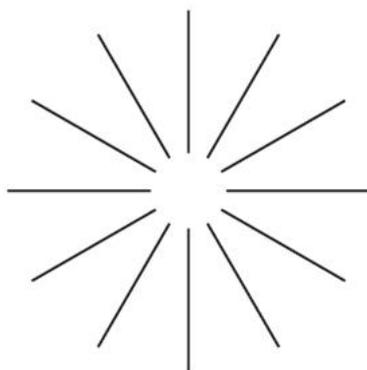


Рис. 114. Видите белый круг? Его нет!

С первого взгляда – на нём круги, соединённые пересекающимися отрезками. Но на самом деле кругов нет! Наш глаз достроил несуществующие окружности.

На следующем рисунке (рис. 114) другой вариант иллюзии Эренштейна. Кажется, что нарисован круг, из которого во все стороны выходят лучи. Но круга нет! Его дорисовал наш мозг.

А на рис. 115 кажется, что верхнюю и нижнюю половины рисунка разделяет кривая линия, которой на самом деле нет!

Существуют и другие варианты этой иллюзии. Следующий рисунок (рис. 116) сделан итальянским психологом Гаэтано Каниша (*Gaetano Kanizsa*, 1913 – 1993). Кажется, что на рис. 116 два треугольника. Но треугольников нет – их также достроил наш мозг.

Наш мозг умеет «достраивать» не только плоские, но и объёмные фигуры. На следующем рисунке Вы наверняка видите куб, хотя, если

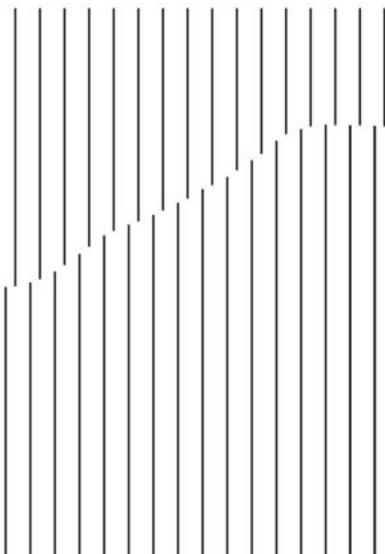


Рис. 115. Вертикальные прямые разделяет кривая линия. Вы её видите?

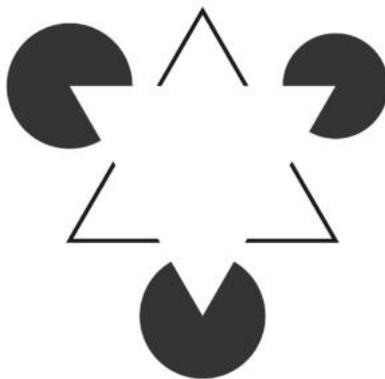


Рис. 116. Видите два треугольника? Или хотя бы один?

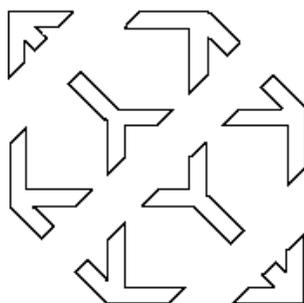
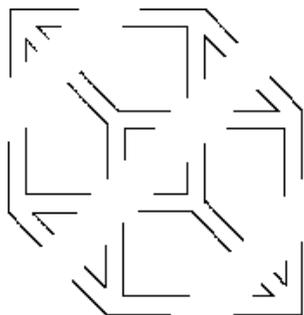


Рис. 117. Видите куб на верхней картинке? А на нижней?

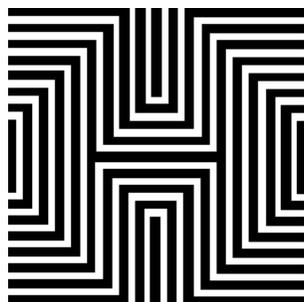


Рис. 118. Видите квадраты?

приглядеться, отрезки разорваны. Наш мозг в попытке получить знакомый образ (знакомый контур), готов домыслить несуществующие связи. Заметим, что для мозга важно получить замкнутый контур, поэтому он и соединяет отрезки. Если отрезки соединить, как показано на рис. 117, снизу, то иллюзия пропадёт – мы видим только контуры замкнутых фигур – никакого куба нет.

Разумеется, эта иллюзия проявляется лишь при первом взгляде на рисунки. Рассмотрев их внимательно, мы понимаем, что на рис. 113 и 114 нет кругов, на рис. 116 нет треугольника, а на рис. 117 – нет куба.

Чем сложнее рисунок, тем дольше сохраняется иллюзия невидимых фигур. На рис. 118 мы явно видим два квадрата, заполненных вертикальными и горизонтальными полосками. Хотя квадратов на самом деле нет – есть просто изгибы полосок.

Заметим, что подобная раскраска применяется в современной архитектуре, придавая зданиям неповторимое изящество (цв. рис. 119).

Появление «несуществующих» фигур можно назвать иллюзией, т.е.

искажённым восприятием действительности. Фигур ведь на самом деле нет. Но является ли это недостатком зрительной системы? Глаз увидел, а мозг правильно распознал замысловатые фигуры. Добавленные мозгом линии не мешают, а, напротив, помогают нам проанализировать полученное изображение.

В реальной жизни, особенно в условиях плохой видимости: при слабом освещении, в тумане, в зарослях и т. д., наш мозг стремится выискивать знакомые образы, «дорисовывая» контуры кустов и деревьев, сопоставляя их с известными очертаниями притаившихся зверей, разбойников, леших и других «персонажей», которых мы боимся или опасаемся. Хорошо это или плохо? Зрительная система предупреждает нас об опасности. Лучше перестраховаться и увидеть опасность в безобидном кусте, чем не заметить замаскировавшегося леопарда. А тем, кто боится каждого куста, лучше в тёмное время сидеть дома.

Таким образом, иллюзия, связанная с «дорисовыванием» контуров, говорит не о несовершенстве нашего зрения, а, напротив, о его огромных возможностях, помогавших и помогающих нам выжить в экстремальных ситуациях.

29. ИЛЛЮЗИЯ ДВОЙНЫХ ОБРАЗОВ

Насколько точно художник должен изобразить объект, чтобы мы его узнали? Способность нашего мозга в поисках знакомых образов «домысливать» фигуры, делает ненужным с фотографической точностью изображать объект. Ведь даже рисунок в стиле «точка, точка, запятая» побуждает нас увидеть лицо человека. Видимо, в этом и состоит мастерство художника, чтобы мы увидели именно то, что художник хотел изобразить.

Некоторые художники умудряются создавать картины, на которых наш мозг может увидеть различные образы.

На следующем рисунке одно из таких специально созданных двойных изображений. Его нарисовал уже упоминавшийся Джозеф Ястров в конце XIX века. Кто изображён на рисунке? С равным

успехом изображение можно принять за голову зайца, смотрящего направо, или голову утки, смотрящей налево.

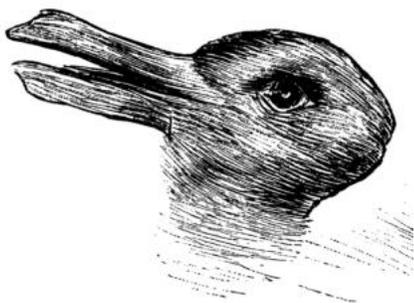


Рис. 120. Двойная фигура Ястрова

Ещё один пример двойного изображения – классический рисунок американского психолога Эдвина Боринга (*Edwin Boring*, 1886 – 1968) «Жена или теща?», опубликованного в 1930 г. (рис.



Рис. 121. Кого Вы видите ?



Рис. 122. Карикатура Уильяма Хилла «Жена или теща?» (1915).

121). Что Вы на нём видите? Большинство видит изображение молодой женщины, которая чуть отвернула от нас свою голову. Но присмотритесь – и Вы увидите профиль старой женщины. Щечка молодой женщины превращается в крючковатый нос старой, а чёрная ленточка и ухо – в рот и глаз». Рассматривая картину, Вы будете видеть то один образ, то другой, оба образа сразу увидеть не получится. Что же изображено на самом деле? – спросите Вы. Ответ традиционен: на самом деле на бумаге лишь несколько чёрных линий и пятен, а изображения возникают в нашем мозгу.

Картина Боринга является упрощённым вариантом более ранней картины британского карикатуриста Уильяма Хилла (*William Hill*, 1887 – 1962), сделанного им в 1915 г. (рис. 122).

Подобных картин существует немало. Во многих из них второе изображение является фоном первого.

Посмотрите на рисунок датского психолога Эдгара Рубина (*Edgar Rubin*, 1886 – 1951), сделанный им в 1915 г. (рис. 123). Что Вы на нём видите? Белую вазу на тёмном фоне? Приглядитесь. Может, это два тёмных лица на белом фоне?

Бессмысленно спрашивать, что же изображено на самом деле. На самом деле на рисунке две чёрные области и одна белая, а уже наш мозг представляет людей, предметы или что-то ещё.

Не обошёл тему «рисунок – фон» уже знакомый нам М. Эшер. На рис. 124 представлена одна из многочисленных его картин с игрой объектов и фона – «День и ночь». Слева отчётливо видны чёрные птицы, летящие на белом фоне, справа – белые птицы на чёрном фоне, а в центре сложно понять, что фон, а что изображение.

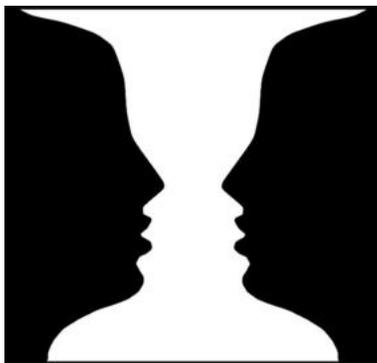


Рис. 123. Ваза Рубина (1915)

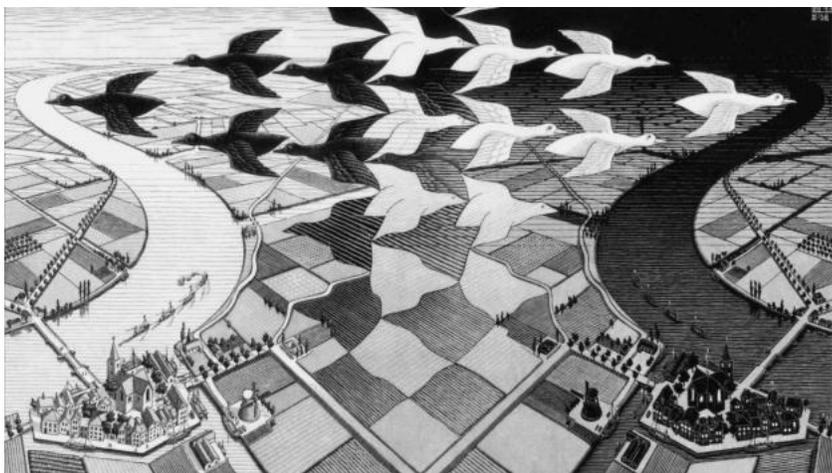


Рис. 124. М. Эшер. День и ночь (1938)

Ещё вариант двойных изображений – картины – перевёртыши, когда сначала на картинке видно одно, а после переворота на 180° или 90° – совсем другое. Некоторые примеры «перевёртышей» приведены на рис. 125 – 126. Существуют также многочисленные картинки, где художник прячет изображение зверя, человека и пр. на фоне деревьев, камней и т.д. Впрочем, эти картинки сложно отнести к иллюзиям, скорее, это забава художников – игра «на что похоже».

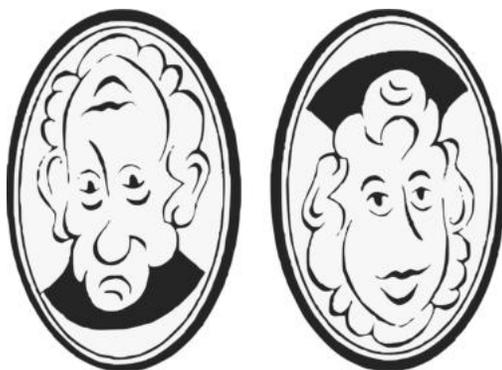


Рис. 125. Картина – перевёртыш: мужчина или женщина?

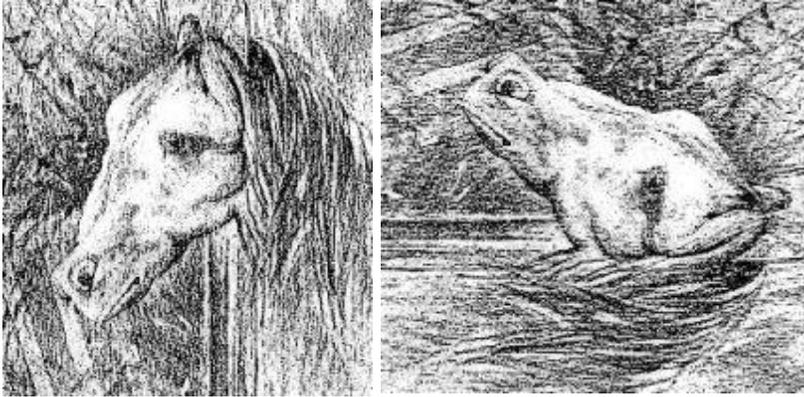


Рис. 126. Картина – перевёртыш на 90°

Очень красивую картину – перевёртыш в 1937 году создал великий испанский художник Сальвадор Дали (*Salvador Dali*, 1904 – 1989).

Посмотрите на цв. рис. 127: лебеди отражаются в воде и... превращаются в слонов!

30. ИЛЛЮЗИЯ ЗНАКОМЫХ ОБЪЕКТОВ

Не все образы известны нам с рождения. Наш мозг способен обучаться. Наблюдая объекты, мы тренируем мозг распознавать их. Причём мозг тренируется даже независимо от нашего желания. Например, мы без труда распознаём 100 рублевую купюру, и нам совсем не нужно читать надпись «100 рублей». Мы прекрасно знаем, как она должна выглядеть, даже не вчитываясь в детали. Рассказывают, что одна группа фальшивомонетчиков в годы гражданской войны печатала банкноты, похожие на настоящие, только вместо надписи «Подделка преследуется по Закону» было написано: «Наши не хуже Ваших». Очевидно, они обладали своеобразным чувством юмора. Кто будет читать мелкие буквы?

Посмотрите на цв. рис. 128. Что на нём изображено? С первого взгляда мы узнаем знакомую расцветку «Кока-колы». И если рисунок быстро убрать, мы будем уверены, что видели рекламу

«Кока-колы». Только приглядевшись, мы заметим, что на рис. 128 написано нечто иное: «Кока-кока».

Что для нашего взгляда знакомее всего? Это не картины из «Третьяковской галереи» и даже не реклама, а постоянно используемые буквы и цифры. Мы их так хорошо научились распознавать ещё в детском садике, что делаем это почти автоматически.

Посмотрите на цв. рис. 129. На нём множество слов, окрашенных в разные цвета. Детсадовскому ребёнку, который ещё не научился читать (или иностранцу), не составит труда последовательно назвать эти цвета. Взрослому же человеку проще прочитать названия цветов, чем правильно назвать цвета слов. Попробуйте сначала вслух прочитать названия цветов, а затем правильно назвать цвета, которыми напечатаны слова. Если Вы будете называть быстро, то обязательно собьётесь. Конечно, если Вы сосредоточитесь и не будете спешить, Вы сможете правильно назвать цвета слов, но это займёт существенно больше времени, чем чтение текста.

О чём говорит этот эксперимент? Неужели взрослый человек хуже распознаёт цвета, чем ребёнок? Конечно, нет. То, что мы иногда ошибаемся, видя почти знакомые образы, не так страшно. Зато мы не тратим усилия на многократное распознавание букв и цифр. Нам важно читать быстро. Читая текст со знакомым шрифтом, мы автоматически распознаем буквы и цифры, даже не задумываясь, сколько символов содержал текст. А вот если в тексте попадется незнакомый знак или буква, перевернутая «вверх ногами», мы сразу обратим на это внимание.

Первоклассники обычно читают по слогам. Взрослые люди настолько натренированы в чтении, что читают тексты «по диагонали», т.е. пытаются уловить смысл, пропуская отдельные слова и даже предложения. Прочитайте представленный ниже текст. Вы без труда поймёте, что в нём написано, несмотря на то, что половина букв в словах переставлены!

Не имеет значения

*По результатам исследований одного
американского университета не имеет
значения, в каком порядке расположены
буквы в слове.*

*Главное, чтобы первая и последняя буквы
были на месте. Остальные буквы могут
случайно в полном беспорядке, всё равно
текст читается без проблем.*

*Причиной этого является то, что мы не
читаем каждую букву по отдельности, а всё
совло целиком.*

Наш мозг справляется с распознаванием образов намного лучше, чем любой компьютер. На этом основана защита от атак на сайты. Одним из способов вывести сайт из строя – автоматически непрерывно производить очень большое число обращений к сайту. Сайт не выдерживает перегрузок и «зависает». Для защиты на вход сайта ставится «капча» (от англ. CAPTCHA – Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart – полностью автоматизированный публичный тест Тьюринга для различения компьютеров и людей) – необычно написанные буквы и цифры. Примеры капчи приведены на рис. 130. Человек обычно справляется с капчей без труда, а автоматически распознать текст не получается.



Рис. 130. Капча

31. ЗАГАДКА ДЖОКОНДЫ

Живописец должен изображать не то, что он видит, а то, что будет увидено.

Поль Валери (Paul Valery, 1871–1945) – французский поэт и философ

Одна из самых известных картин в мире – это Джоконда (Мона Лиза) великого итальянского мастера живописи Леонардо да Винчи (1452 – 1519). Вы можете видеть репродукцию этой картины на цв. рис. 131. Кроме многочисленных художественных достоинств, картина имеет особую таинственность – это загадочная улыбка Джоконды, которую отмечают все смотрящие на неё. Что же загадочного в этой улыбке?

Посмотрите на лицо Джоконды крупным планом (цв. рис. 132) и попробуйте определить, как смотрит на нас Джоконда? Какая у неё улыбка: добродушная, лукавая, злая...?

Профессор нейробиологии из Гарварда (США) Маргарет Ливингстон (*Margaret Livingstone*) считает, что загадка Джоконды кроется в особенности распознавания лиц. Вначале наш взгляд видит картину в целом, и лишь затем рассматривает детали. Посмотрите на фрагмент портрета на цв. рис. 133. На самом деле *улыбки нет* – края губ не растянуты. Но едва заметные ямочки на щеках, их формы изображены так, как будто женщина улыбается. При первом взгляде, когда глаз осмотрел общие контуры, наш мозг посчитал, что женщина улыбается. Но затем, когда мы рассмотрели детали, мозг распознает, что улыбки нет. В этом и загадочность этой исчезающей улыбки. Мы увидели на портрете улыбку, и она тотчас исчезла. Переведите взгляд на задний план картины или вовсе на другой объект, а затем снова посмотрите на Джоконду. И она снова улыбнется Вам своей чарующей загадочной исчезающей улыбкой.

Планировал ли Леонардо да Винчи эффект исчезающей улыбки или он получился случайно? У него есть менее известная картина «Прекрасная принцесса», размером всего в лист А4, на которой

изображена молодая девушка с «исчезающей улыбкой» (цв. рис. 134). Картина была написана в 1496 г, а работу над Джокондой Леонардо начал в 1500 году. Видимо, опробовав технику «исчезающей улыбки» на небольшом портрете, Леонардо использовал её при написании Джоконды, так что это не случайность, а искусный замысел великого мастера.

32. ЦВЕТНОЕ ЗРЕНИЕ

До сих пор мы не рассматривали проблему цветного зрения. Мы видим мир цветным! А разве может быть иначе?

К сожалению, может. Есть болезнь – дальтонизм, когда люди не различают или плохо различают цвета. Мир предстаёт перед ними только в оттенках серого. Чтобы понять, как они видят мир, можно посмотреть старые черно-белые фильмы, например, «Весёлые ребята», «Волга-Волга», фильмы Чарли Чаплина и др.

Окружающий мир отчётливо виден, в нём можно ориентироваться, узнавать знакомые лица, пейзажи, но нет привычной красоты.

Так ли уж нам нужно цветное зрение? Несомненно, оно помогает человеку выжить. По цвету мы легко отличаем зелёные недозрелые плоды от зрелых и перезрелых. В чёрно-белом мире это было бы намного сложнее. Кроме этого мы можем по бледному цвету лица увидеть, что человеку плохо, что он заболел – это умение чрезвычайно важно родителям, особенно когда дети ещё не научились говорить. Когда человек пытается обмануть, он нервничает, что вызывает, наверно, знакомое каждому покраснение щёк и ушей, которое часто выдавало Вас родителям. В детстве с этим волнением сложно справиться. Недаром про врущего человека говорят: «Врёт и не краснеет».

33. ЦВЕТ И СВЕТ

Как Вы думаете, слова «цвет» и «свет» обозначают одно и то же?

Мы говорим: «На светофоре загорелся зелёный свет», «Лист бумаги имеет зелёный цвет». В чём разница между «цветом» и «светом»?

Свет – это поток электромагнитных волн определенной длины. Они прекрасно существуют и без человека. Наш глаз может воспринимать узкий диапазон этих волн. Цвет – это наше восприятие света. С ним сложнее. С одной стороны, цвет – это свойство материала. Если мы положим зелёный лист бумаги в сундук, он от этого не перестанет быть зелёным. Но с другой стороны, сам лист бумаги не светится, чтобы увидеть какого он цвета, нам нужно его осветить. Когда мы освещаем зелёный лист бумаги белым светом, то он рассеивает (то есть отражает во все стороны) зелёный свет, и потому мы видим лист зелёным. Но если мы посветим зелёным светом на белый лист, то лист рассеет зелёный свет – другого света просто нет, и мы увидим лист зелёным, хотя сам лист не изменился. Таким образом, цвет предмета может зависеть от условий наблюдения.

Возможно, Вы наблюдали закаты, когда тёмно-красное Солнце достигает горизонта, и все облака приобретают багряно-красный оттенок. Но это не значит, что сами облака изменились. Просто они освещаются не белым, а красным светом и потому кажутся нам красными.

В театрах есть специальные рабочие – осветители. Они должны в нужный момент освещать нужных актёров прожекторами с нужным светом. Может, их работа не так заметна, как игра актёров, но без них невозможно осуществить творческий замысел режиссёра и должным образом представить сцену с актёрами зрителям.

34. «ПАЛОЧКИ» И «КОЛБОЧКИ»

Как же у нас формируется представление о цвете?

Нам придётся снова вернуться к строению глаза. Мы уже говорили, что у человека есть два вида зрительных клеток: так называемые «палочки» и «колбочки». «Палочки» отвечают за черно-белое зрение, точнее, они позволяют видеть оттенки серого цвета. За цветное зрение отвечают «колбочки». Зачем же всё так хитро устроено?

Дело в том, что природе нужно было решить очень сложную проблему – нам необходимо видеть не только солнечным днём, но и тёмной ночью при свете звезд.

И природа с этим блестяще справилась!

После адаптации (привыкания) к темноте человеческий глаз способен увидеть огонь свечи на расстоянии нескольких километров. Днём глаз приспособляется к солнечному свету, в сотни миллиардов раз более интенсивному, чем удалённая свечка.

При слабом освещении за зрение ответственны «палочки». Именно эти клетки способны улавливать слабые источники света. Но «палочки» не способны различать цвета, поэтому в сумерках цвета различаются плохо. Как говорится: «в темноте все кошки серы».

При ярком свете за зрение ответственны в основном «колбочки». «Колбочек» намного меньше, чем «палочек». При ярком свете и такого количества хватает.

Как же «колбочки» различают цвет?

Для ответа на этот вопрос нужно разобраться с тем, а что такое цвет? Можно ли его как-нибудь измерить?

Интенсивность (яркость) света можно определить как световую энергию, падающую на площадку известного размера за одну секунду. Если источник очень мощный, падающий на площадку свет нагреет её (особенно, если площадка чёрная), т.е. интенсивность света можно измерять термометром. Для измерения интенсивности

слабого света можно воспользоваться фотоэлементом.

Но как измерить многообразие цветов и их оттенков?

Первым, кто установил природу цвета, был великий английский физик Исаак Ньютон (*Isaac Newton*, 1643 – 1727).

Ньютон провёл простой и одновременно гениальный эксперимент. Он направил тонкий пучок белого солнечного света на стеклянную призму. Преломившись в призме (т.е. пройдя через призму), белый свет разложился на множество цветов (цв. рис. 135). Такое разложение света называют спектром.

Если у Вас нет стеклянной призмы, чтобы повторить эксперимент Ньютона и увидеть спектр белого света, не огорчайтесь, Вы наверняка видели его после дождя... в небе! Дождевая радуга образуется в результате преломления солнечных лучей в каплях дождя. Радугу можно также наблюдать в солнечный день в брызгах фонтанов (цв. рис. 136).

Сколько цветов в радуге? Если Вы видели радугу, то наверняка обратили внимание, что цвета в ней меняются не скачками, а плавно переходят от одного оттенка к другому. Сколько выделить в ней цветов – дело вкуса. Возможно, потому, что число семь – традиционный символ полноты, Ньютон выделил в радуге семь цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, синий, индиго (от названия растения в Индии, из которого выделяли краситель, дающий промежуточный оттенок между синим и фиолетовым), фиолетовый. Следуя традиции, мы также выделяем в радуге семь цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый.

То, что призма разлагает белый свет, видели и раньше. Что же нового сделал Ньютон?

Ньютон показал, что цвета радуги являются простыми, т.е. их уже нельзя разложить призмой. Для этого после первой призмы он поставил вторую. Схема эксперимента описана в его книге «Оптика» и приведена на рис. 137. Точка *S* обозначает источник света (Солнце). Свет через специальное круглое отверстие в

оконной шторе F попадает в затемнённую комнату. В отсутствие призмы луч света попал бы на стену и образовал круглое пятно Y . Преломляясь только в призме ABC (второй призмы пока нет), белый свет разлагается в спектр, образуя разноцветную полосу PT , раскрашенную в цвета радуги. Если поставить вторую призму DH , то она преломит лучи, но лучи уже не разлагаются, оставаясь каждый своего света, образуя разноцветную полосу pt .

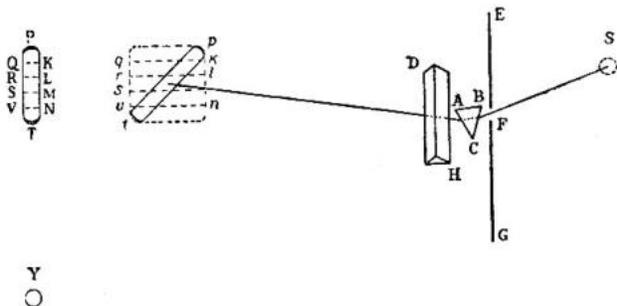


Рис. 137. Рисунок из книги Ньютона «Оптика».
Эксперимент с двумя призмами

Таким образом, Исаак Ньютон показал, что белый цвет состоит из нескольких «простых» цветов, которые уже нельзя разложить призмой на составляющие. Чтобы окончательно убедиться в том, что белый свет является составным, Ньютон провёл такой эксперимент. Он поставил вторую призму, как показано на цв. рис. 138, и собрал спектр обратно в белый свет.

Любой цвет является комбинацией простых цветов радуги. Например, смешав красную и синюю краски, мы получим в зависимости от пропорции сиреневую, пурпурную или лиловую краску, как показано на цв. рис. 139. Смешав зелёную и красную – жёлтую (или коричневую), синюю и зелёную – циановую краску. Смешение всех трёх красок даст белый цвет (или оттенок серого).

Теперь можно перейти к вопросу как формируется цветное зрение. Теория цветового восприятия была разработана английским физиком и врачом Томасом Юнгом (*Thomas Young*, 1773 – 1829) и уже упоминавшимся выше немецким учёным Германом фон

Гельмгольцем (*Hermann von Helmholtz*, 1821 – 1894).

В глазе человека есть три типа «колбочек». Первый тип «колбочек» хорошо реагирует на красный цвет, слабее на оранжевый и жёлтый, ещё слабее на остальные цвета... Второй тип «колбочек» хорошо реагирует на зелёный, слабее на голубой и оранжевый, ещё слабее на синий, жёлтый и красный цвета. Третий тип «колбочек» хорошо реагирует на синий цвет, слабее на фиолетовый и голубой и практически не чувствителен к другим цветам.

Несмотря на то, что «колбочек», намного меньше, чем «палочек», они расположены на сетчатке достаточно плотно. Все три типа «колбочек» присутствуют примерно в равном количестве. Свет от предметов, попадая на сетчатку, воздействует на «колбочки» разных типов. Как ни прозаично это звучит – каждый видимый нами оттенок цвета – это лишь всего комбинация интенсивности воздействия на «колбочки» разных типов. При одинаково сильном воздействии на все три типа «колбочек» мы видим яркий белый цвет или оттенки серого.

Это упрощённая схема цветового восприятия. В действительности всё оказалось сложнее, поскольку информация от «колбочек» обрабатывается до поступления в мозг, кроме того, мозг получает ещё информацию от «палочек». Хотя «палочки» не дают цветового ощущения, они вносят вклад в информацию об интенсивности света. Подробнее мы рассмотрим эту проблему ниже, разбирая эффект Пуркинье.



ЭТО ИНТЕРЕСНО **Куриная слепота**

Если человек плохо видит при слабом освещении, то про него говорят, что у него «куриная слепота». Почему?

Дело в том, что у курицы глаз состоит из «колбочек», поэтому в сумерках она не может видеть. У совы, наоборот, глаз состоит из «палочек», поэтому она очень хорошо видит ночью, почти в полной темноте, но не различает цветов. Впрочем, ночью при свете звезд мы тоже не различаем цветов.

35. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЦВЕТА

Вы хотите повторить эксперимент Ньютона, но у Вас нет призм? Не огорчайтесь, можно «собрать» семь цветов спектра в белый другим способом. Вырежете из белой плотной бумаги или картона круг, разделите его на восемь частей. Раскрасьте семь секторов в семь цветов радуги, а восьмой оставьте не покрашенным (цв. рис. 140). Насадите диск на булавку, проколите его по середине. А теперь завертите диск. При достаточно быстром вращении Вы перестанете различать отдельные цвета. Если Вы правильно подобрали насыщенность цветов, Вы увидите белый диск. Если вращающийся диск имеет окраску, закрасьте оставшийся сектор. В какой цвет? Если не сообразите сами, прочитайте раздел до конца.

На самом деле можно разбить диск не на восемь, а всего на четыре сектора и раскрасить три сектора в цвета, соответствующие трем типам «колбочек»: красный, зелёный и синий (см. цв. рис. 140). Завертите диск. При быстром вращении Вы увидите диск белым. Если вращающийся диск будет виден окрашенным, закрасьте оставшийся сектор в *дополнительный* цвет.

Что значит дополнительный цвет? Это значит цвет, которым нужно воздействовать на «колбочки», чтобы получить белый цвет. Например, если круг окрашивается в красный цвет, это значит, что воздействие света на первый тип «колбочек» сильнее, чем на два других. Следовательно, нужно усилить воздействие на два других типа «колбочек», т.е. нужен сине-зелёный цвет. Получается таблица соответствия:

Цвет	Дополнительный цвет
красный	сине-зелёный (циан)
зелёный	красно-синий (сиреневый)
синий	красно-зелёный (в зависимости от яркости золотистый, жёлтый или коричневый)

Разумеется, столбики в таблице можно поменять местами: дополнительный к жёлтому цвету – это светло-синий цвет.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Цветное зрение человека, животных и птиц

Почему «колбочек» именно три типа?

Надо заметить, что среди млекопитающих только у человека и приматов (человекоподобных обезьян) есть «колбочки» трёх типов. У остальных млекопитающих, в том числе кошек и собак всего два типа «колбочек»: которые хорошо реагируют на красный и синий цвет и хуже на остальные цвета спектра. Поэтому собаки, кошки и др. млекопитающие различают цвета, но не могут подобно нам наслаждаться таким многообразием оттенков. Впрочем, не стоит особенно этим гордиться: большинство птиц, пресмыкающихся, земноводных и рыб имеют четыре типа «колбочек», и оттенки цвета они различают лучше нас. А чемпионом по количеству видов рецепторов является рак-богомол (цв. рис. 141). У него 12 видов цветовых рецепторов! Нужно ли ему столько? Он живет в коралловых рифах, где в цветных гаммах недостатка нет. Можно только догадываться какое многообразие оттенков он видит! Вот только непонятно, как он успевает обрабатывать зрительную информацию. Ведь мозг у него совсем крошечный.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

RGB мониторы и СМУК принтеры

Телевизоры и экраны компьютеров придумали уже после того, как стало известно устройство человеческого глаза. Поэтому они передают цвета, также используя три типа цветных пикселей (точек на экране): красного (англ. **Red**), зелёного (англ. **Green**) и синего (англ. **Blue**). Отсюда часто употребляемая аббревиатура: **RGB** мониторы. Каждый цвет пиксела соответствует максимуму чувствительности одного типа «колбочек». Обычно яркость цвета кодируется от 0 (минимальная) до 255 (максимальная). Например, **RGB** кодировка ярко-красного цвета: (255, 0, 0), золотистого – (255, 255, 0), сиреневого – (0, 255, 255)... и т.д.

Возможно, у Вас возник вопрос, почему монитор «красно-зелёный-синий»? А где фиолетовый цвет?

Дело в том, что фиолетового цвета на мониторах НЕТ!

Вместо фиолетового цвета мониторы показывают в зависимости от яркости светло-сиреневый или тёмный пурпурный цвет, в программировании он называется маджента (*magenta*). Особенность цветового восприятия «колбочек» заключается в том, что человеческий глаз не способен отличить красно-синий (сиреневый) свет от фиолетового, поскольку комбинация красного и синего света и фиолетовый свет возбуждают «колбочки» одинаковым образом.

А в чём же разница между ними?

Разницу можно обнаружить с помощью призмы. Красно-синий свет является составным, и призма разложит его на красный и синий. Фиолетовый свет является «простым», то есть его призма разложить на составляющие не сможет.

В принтерах используют не *RGB* чернила, а другую, так называемую *CMYK* палитру, состоящую из дополнительных цветов: сине-зелёный (циан, англ. – **Cyan**), красно-синий (сиреневый или пурпурный, англ. – **Magenta**), красно-зелёный (жёлтый, англ. – **Yellow**) и чёрный (англ. – **black**).

Почему при печати не используют *RGB* цвета?

Соединение трёх *RGB* цветов даст белый цвет, а соединение трёх *CMY* цветов – чёрный или тёмно-серый цвет. Но печатают обычно на белой бумаге, следовательно, печатать белым цветом бессмысленно. Поэтому и используют *CMY* – палитру. Поскольку чёрный цвет в печати используется намного чаще других, его добавили в палитру отдельным номером, чтобы при печати чёрный цвет получался чёрным, а не тёмно-серым.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение

Солнечный свет не ограничивается только видимым диапазоном. В солнечном спектре есть ещё инфракрасный (т.е. «перед красным») и ультрафиолетовый (т.е. «сверх фиолетовый») цвета.

Если бы Ньютон мог их видеть, то в экспериментах с разложением призмой белого света (см. рис. 135), он заметил бы инфракрасный свет ниже красного, а ультрафиолетовый – выше фиолетового.

Инфракрасный и ультрафиолетовый свет невидимы для людей, но ультрафиолетовый цвет видят насекомые и некоторые птицы, а инфракрасный – змеи, насекомые и др. Почему? Наше зрение так несовершенно или на это есть веские причины?

Прежде всего, заметим, что для выполнения жизненно важных задач: определения здорового цвета лица и пригодных для еды плодов, нашим глазам вполне достаточно видимых цветов.

Но всё же, почему природа ограничила нас узким диапазоном видимых цветов?

Инфракрасные лучи – это тепловые лучи. Благодаря возможности ощущать тепловые лучи змеи могут охотиться на нас, теплокровных. Но мы теплокровные, поэтому, если бы мы ощущали тепловые лучи, мы всё время видели бы, прежде всего, самих себя – тепло нашей собственной сетчатки мы бы видели как постоянную засветку, что, наверное, не очень удобно для разглядывания окружающего мира.

Ближайшую зону инфракрасных лучей «видят» большинство видеокамер. В этом несложно убедиться. Возьмите инфракрасный пульт управления телевизором и посветите им на видеокамеру. Видеокамера запишет инфракрасные сигналы от пульта в виде мигающего белого огонька. Глазами Вы сигналы от пульта не увидите.

Ультрафиолетовые лучи мы не видим по двум причинам.

Во-первых, они плохо проходят через атмосферу, поэтому ими можно воспользоваться только в ясные солнечные дни. Видимо, неэффективно держать инструмент, которым можно пользоваться лишь время от времени.

Во-вторых, ультрафиолетовые лучи несут больше энергии, чем видимый свет, и могут разрушить клетки сетчатки.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Никогда не смотрите на источники ультрафиолетового излучения без специальной защиты!

Источниками ультрафиолетового излучения в быту являются ртутные лампы. Стекло плохо пропускает ультрафиолетовые лучи и обычные лампы не опасны. Но лампы для **соляриев** и для кабинетов **физиотерапии** делают из кварцевого стекла, которое прозрачно для ультрафиолета. Свет от ультрафиолетовых ламп может показаться тусклым, но на самом деле он несёт большую энергию и губителен для сетчатки. Не смотрите на них без очков. Даже обычные стеклянные очки защитят Ваши глаза от ультрафиолета. Но лучше не рисковать и пользоваться специальными тёмными очками для солярия.

Ультрафиолет излучает также **сварочный аппарат**. Сварщики работают в специальных масках. Никогда не смотрите на работу сварщика без специальных тёмных очков!

Солнце также является источником ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Но на Солнце вообще нельзя смотреть – у него очень яркий свет, который может навсегда повредить зрительные клетки.

36. ИЛЛЮЗИЯ КОНТРАСТА

Посмотрите на рисунок (цв. рис. 142). Что Вы на нём видите? Не ищите чего-то необычного. Если Вы видите тень от цилиндра, стоящего на шахматной доске – с Вашим зрением всё в порядке.

Но «подвох» в рисунке есть. Как, по-вашему, какой квадрат темнее: *A* или *B*? В это трудно поверить, но они одинаковы! В этом можно убедиться, если соединить квадраты полоской такого же тона, как показано на следующем рисунке (цв. рис. 143).

Почему же наш мозг в очередной раз ошибся?

Мы уже обсуждали, что наш мозг, оценивая размеры предметов, невольно (подсознательно) сравнивает их с окружением. Например,

в рассмотренной выше иллюзии Эббингауза маленький кружок рядом с большими кругами кажется ещё меньше. Видимо, когда глаз оценивает темноту предмета, он автоматически сравнивает её с фоном.

Иллюзия с цилиндром на шахматной доске была опубликована профессором Массачусетского технологического института (США) Эдвардом Адельсоном (*Edward Adelson*) в 1995 г.

Однако подобные иллюзии контраста известны более 100 лет. Одна из них была предложена уже известным нам Карлом Герингом ещё в 1870 г.

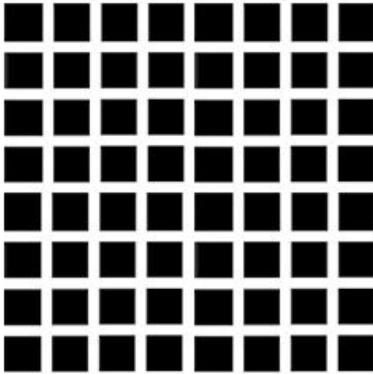
Посмотрите на рис. 144. На пересечении белых полос, где чёрные клетки с четырёх сторон окружают белый фон, появляются серые пятна. Впрочем, если остановить взгляд на каком-нибудь из «серых» пятен и внимательно его разглядеть, то оно тут же становится белым.

На следующем рисунке (рис. 145) представлен другой вариант иллюзии. На пересечении чёрных линий Вы можете увидеть светло-серые пятна (кроме того места, которое Вы внимательно рассматриваете).

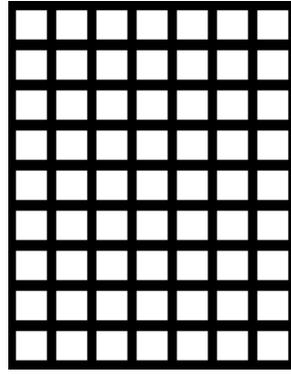
На эти иллюзии похожа иллюзия Вертгеймера-Коффки, которая была обнаружена в начале XX века немецкими психологами – основателями гештальт-психологии Максом Вертгеймером (*Max Wertheimer*, 1880 – 1943) и Куртом Коффкой (*Kurt Koffka*, 1886 – 1941).

Кажется, что на цв. рис. 146 правая половинка кольца светлее левой, хотя они одинаковы. Эту иллюзию можно посмотреть (или показать) следующим образом. Напечатайте на принтере чёрный квадрат и серое кольцо, а карандаш положите сверху. Если карандаш убрать, то иллюзия пропадёт – кольцо будет видно однотонным.

Можно придумать много подобных рисунков с иллюзией контраста. Ниже представлен ещё один. На нём все овалы имеют одинаковый оттенок серого, хотя невозможно отделаться от ощущения, что правый овал темнее левого (рис. 147).



*Рис. 144.
Иллюзия решётки Геринга*



*Рис. 145. Другой вариант
иллюзии решётки Геринга*

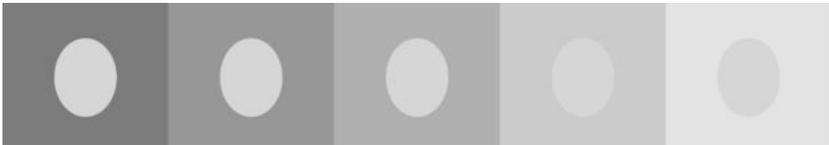


Рис. 147. Вариант иллюзии контраста

Стоит ли нам расстраиваться, что наш мозг неверно определяет яркость оттенков серого цвета? Свидетельствует ли это о несовершенстве нашего зрения? Разумеется, нет. Мы уже обсуждали, что для нашего мозга главное не измерять длины отрезков или яркость оттенков цвета, а строить объёмное изображение. Для этого ему нужно правильно определять взаимное расположение предметов. В иллюзии Адельсона мы сразу распознаём, как стоит цилиндр. Нам очень помогает в этом наличие тени. Если бы тени не было, как бы узнали, что перед нами цилиндр, а не покрашенная в зелёный цвет часть доски?

Поэтому мозг подсознательно отделяет тень цилиндра от остальной части доски, подчёркивает её наличие, представляя её более тёмной, чем клетки на оставшейся части доски. Мозг блестяще выполнил свою задачу: на рисунке мы сразу увидели цилиндр на шахматной доске и его тень.

37. ИЛЛЮЗИЯ ОТТЕНКОВ ЦВЕТА

Поскольку мы не всегда точно определяем яркость оттенков серого цвета, то можно ожидать, что и с другими цветами может возникнуть похожая проблема.

Действительно, посмотрите на цв. рис. 148. Сколько оттенков зелёного Вы видите? Два? На самом деле всего один оттенок зелёного! Чтобы Вы в этом убедились, на цв. рис. 149 центральный фрагмент дан крупным планом.

Почему мы ошиблись? Также как и в случае с тенью, яркость цвета зависит от окружения. В окружении ярких белых квадратиков зелёные квадратики кажутся более яркими, чем *те же самые* зелёные квадратики в окружении тёмных красных квадратиков.

Но и в этом случае нам незачем расстраиваться – наш мозг выполнил свою задачу – он распознал две линии на зелёном фоне.

А вот более сложная игра цветов в иллюзии профессора психологии университета в Киото (Япония) Акиоши Китаока (род. 1961). Здесь мы можем ошибиться не только в оттенке, но даже в цвете рисунка.

Бросьте быстрый взгляд на картину (цв. рис. 150). Что Вы видите? Розовые, зелёные и голубые спирали, пронизанные красными полосками?

А ведь голубого цвета нет! «Голубая спираль» образована таким же зелёным цветом, что и «зелёная» спираль!

Не верите? Посмотрите на фрагмент спиралей крупным планом (цв. рис. 151).

Цвет спиралей одинаков, (в графических редакторах можно посмотреть его *RGB* кодировку: 0, 255, 150). Но «зелёную» спираль пронизывают оранжевые линии (*RGB* кодировка: 255, 150, 0), а «голубую» – сиреневые (красно-синие) линии (*RGB* кодировка: 255, 0, 255).

Получается, что окружение сиреневого (красно-синего) цвета побуждает мозг представлять зелёный цвет как голубой. Почему?

Скорее всего, это побочный результат быстрого распознавания объектов на картине. Отрезков много, они мелкие, поэтому при быстром «пробегании» по рисунку мозг «добавляет» синий цвет к соседним областям. Но всё же главную задачу – распознавания объектов мозг выполнил: мы безошибочно видим сходящиеся к центру цветные спирали.

Тот же эффект можно наблюдать и в других ситуациях. Посмотрите на цв. рис. 152. Видите в центре листов голубые и зелёные квадратики? Наверное, Вы уже догадались, что на самом деле квадратики одного цвета (*RGB* кодировка: 0, 250, 150). А разными цвета нам кажутся из-за окружения. В одном случае зелёные квадратики окружены оранжевым фоном (*RGB* кодировка: 255, 150, 0), а в другом – фон красно-синий (*RGB* кодировка: 150, 0, 255).

Можно привести много примеров подобных цветных иллюзий. Но в этой книге не ставится задача рассказать обо всех существующих иллюзиях – это просто невыполнимо, и даже не ставится задача привести как можно больше примеров. Мы хотим лишь рассказать читателям, что наше зрение обладает невероятными способностями, в том числе оно умеет быстро и правильно распознавать образы, а рассмотренные иллюзии – это побочные результаты этих способностей. Пусть в определённых искусственных условиях наше зрение ошиблось в оттенке цвета, но мозг выполнил свою задачу распознавания. Даже при беглом взгляде на цв. рис. 152 мы отчётливо увидели цветные квадратики.

38. ЭФФЕКТ ПУРКИНЬЕ

Мы уже обсудили, что за дневное зрение отвечают «колбочки», а за ночное (не полная темнота, а слабый свет Луны и звезд) – «палочки». Возможно, у Вас уже возник вопрос: а что происходит при наступлении сумерек?

Для ответа надо разобраться с тем, какие цвета возбуждают «палочки»? «Палочки» возбуждают все цвета спектра от красного до фиолетового. Они наиболее чувствительны к зелёным и голубым лучам, и более чувствительны к синему и фиолетовому свету, чем

к жёлтому, оранжевому и красному. Это приводит к тому, что при уменьшении освещенности (например, в вечерних сумерках) синие цвета более тусклые, чем зелёные, а красные – более тусклые, чем синие. При слабом освещении, пока «колбочки» ещё возбуждаются светом, мы различаем цвета, но яркость уже определяется «палочками». При дальнейшем уменьшении освещенности цвета блекнут, и мир становится видным в серых тонах, поскольку все сигналы, поступающие от «палочек», мозг воспринимает как серый цвет.

Например, если на клумбе рядом растут красный и синий цветок, то в сумерках синий цветок будет казаться более светлым, чем стоящий рядом красный. При этом остальные цвета будут искажаться: красно-зелёный (жёлтый) будет казаться зелёным, красно-синий (пурпурный) – более синим.

Этот эффект описал в 1825 г. чешский физиолог Ян Пуркинье (*Jan Purkyne*, 1787 – 1869, иногда его фамилию пишут Пуркине). Он обнаружил это явление, наблюдая в сумерках за синими и красными дорожными знаками. Но известно оно было раньше. Еще Леонардо да Винчи отмечал, что зеленые и голубые краски усиливают свой цвет в полутени.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Не пытайтесь определить цвет предмета при слабой освещенности или при свете цветного фонаря. Осветите его белым светом.



ЭТО ИНТЕРЕСНО

Снайперский прицел

Хотя «палочки» позволяют видеть при слабом освещении, они уступают «колбочкам» по чёткости получаемого изображения. Но «колбочки» можно активировать, осветив глаз красным светом, к которому «колбочки» чувствительны, а «палочки» мало чувствительны. Так делается в снайперских прицелах – красным светом освещается глаз снайпера, чтобы его «колбочки» активировались, и он лучше видел цель.

ЧАСТЬ 3

ПОДВИЖНЫЙ В ПОДВИЖНОМ

Mobilis in mobile

Подвижный в подвижном

(Девиз капитана Немо)

Мы уже познакомились с удивительными способностями нашего зрения: видеть мир объёмным и цветным, быстро распознавать знакомые образы, соединять изображения, получаемые правым и левым глазом в одно. Но у нашего зрения есть и другие удивительные способности.

До сих пор мы считали, что смотрим на картину, фотографию или неподвижные объекты реального мира. Но на самом деле всё вокруг нас непрерывно движется. Как это согласуется с «вычислительной» способностью мозга? Видеокамера просто «схватывает» изображение 25 или более раз в секунду и затем побайтно сохраняет информацию. Но мозгу нужно ещё успевать её обработать. Как ему удастся справиться с таким потоком информации?

Ниже мы увидим, что природа не только справилась с задачей наблюдения движения, но и дала нашей зрительной системе удивительную способность предвидения событий (в пределах долей секунды).

39. ИЛЛЮЗИЯ МУЛЬТИПЛИКАЦИИ

Любите ли Вы мультфильмы? Глупый вопрос. Кто же их не любит? Но как на экране передаётся движение забавных мультяшных героев?

Мультфильмы – тоже своего рода иллюзия. На самом деле рисунки

на бумаге или куклы в кукольных мультфильмах не движутся. На экране телевизора или компьютера последовательно появляются кадры с изображением героев мультфильма. Каждый кадр похож на предыдущий, но всё же он немного отличается. Например, у человечка на первом кадре рука внизу, на втором – чуть выше, на третьем ещё выше как показано на рис. 153. При быстром просмотре кадров мозг соединяет образы и создаётся иллюзия, что рука поднимается.

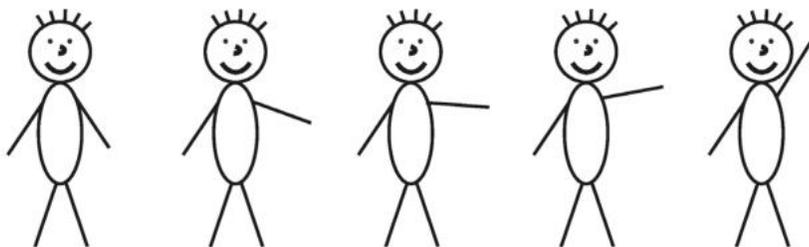


Рис. 153. Движение в мультике

Вы можете убедиться в этом сами. Нужно взять блокнотик и нарисовать на нескольких страницах фигурки человечков. Каждый рисунок должен чуть отличаться от предыдущего положением руки или ноги. Теперь пролистните блокнот, и Вы увидите, что нарисованный человечек движется.

Рисованные мультфильмы так и создаются. Кукольные мультфильмы отличаются от рисованных тем, что последовательные движения совершают куклы. Кукловод ставит куклу в определенное положение и фотографирует, затем немного меняет положение её руки, головы и т.п. и снова фотографирует. И так много-много раз. Многие современные мультфильмы сделаны на компьютере, то есть последовательные движения героев создает и записывает в память специальная компьютерная программа. Это позволяет сэкономить много бумаги.

Таким образом, очень хорошо, что наше сознание получает переработанную зрительную информацию. Если бы мы видели мир, как он есть на самом деле, то мультфильмов бы не было – вместо непрерывного движения, мы бы видели последовательность

картинок. Но к счастью для нас мозг на подсознательном уровне успевае́т превращать серии кадров в движение. Благодаря этому мы можем смотреть мультфильмы.

Без удивительной способности мозга превращать кадры в движение мы бы не могли не только видеть мультфильмы, но и обычное кино, телевизионные передачи и видео на компьютере. Кино и телевидение устроено примерно так же, как и мультфильмы. На экране кинотеатра или в телевизоре меняются кадры, обычно 25 раз в секунду. Так что без замечательной способности мозга мы не смогли бы смотреть не только мультфильмы, но и обычное кино.

Как быстро нужно менять кадры, чтобы возникла иллюзия движения?

Если менять их, например, раз в секунду, то взгляд успеет рассмотреть изображения, и они будут восприниматься как последовательность кадров.

Первые фильмы, созданные братьями Люмьер (*Lumiere*) в 1896 году, имели частоту 16 кадров в секунду. Отчасти, это было обусловлено желанием сэкономить дороговую в те времена киноплёнку. При такой частоте смене кадров движения на экране получались всё же «дёрганнми», и в 1920-ые годы кинематограф перешёл на стандарт 24 кадра в секунду. Такой частоты оказалось достаточно, чтобы наша зрительная система воспринимала бы не отдельные рисунки, а плавные движения героев мультипликации или актёров в кино. На телевидении принят стандарт 25 кадров в секунду. Видеоролики на компьютере могут иметь другие стандарты частоты кадров.

40. ИЛЛЮЗИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Поскольку движение на экране телевизора или компьютера состоит из отдельных кадров, а мозг сам домысливает, как сделать движение непрерывным, то можно придумать ситуации, когда мозг не сможет выполнить эту задачу, или сможет выполнить её неоднозначно.

Например, можно «повернуть» крылья мельницы на соседних

кадрах на 45° , как показано на рис. 154. Если на экране 25 раз в секунду поочередно показывать кадры 1 и 2, то будет казаться, что мельница вращается.

Но в какую сторону?

Ситуация с вращением мельницы напоминает рисунки с двойными изображениями. Направление зависит от нашего желания. Мы можем представить, что мельница вращается по часовой стрелке, или против часовой стрелки. Понятно, что нам не удастся увидеть, что она вращается сразу в обе стороны.

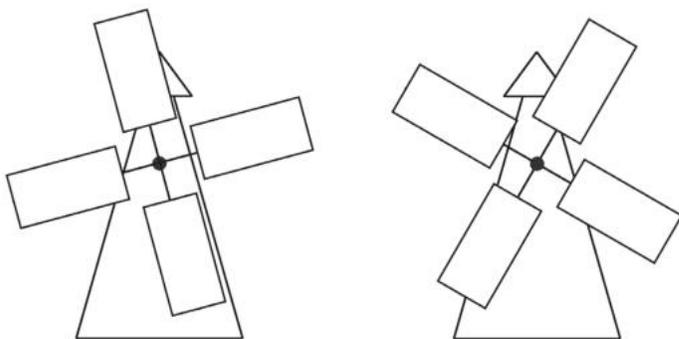


Рис. 154. Мельница с непонятным направлением вращения

Интернет наполнен видеороликами на которых мы можем увидеть подобные иллюзии: поезда, которые непонятно куда движутся – к нам или от нас, балерины, которые непонятно куда вращаются – по часовой стрелке, или против часовой стрелки... и т.д. К сожалению, видеоролики нельзя выложить на страницах книги.

41. ПРИЗНАКИ ДВИЖЕНИЯ

Откуда же у нашего мозга способность превращать кадры в видимое движение? Неужели природа наделила наш мозг возможностью смотреть мультфильмы задолго до их появления? Может быть, мы и в реальном мире видим движения как последовательность кадров?

На самом деле всё гораздо сложнее. Мы уже знаем, что наш глаз рассматривает мир,водя зрачками по объектам. Но пока наши зрачки перемещаются по рассматриваемому объекту, сам объект может изменить положение, и наш мозг должен сообразить, что объект переместился и передать информацию о его движении! И при этом он должен это делать не только при просмотре мультфильмов, а каждый день, каждый час, каждую секунду!

Как же мозг справляется с такой сложной задачей?

Здесь ещё очень много загадок, но одна подсказка лежит на поверхности.

Возможно, Вам приходилось снимать быстродвижущиеся объекты: бегуна на стадионе, мчащийся автомобиль, летящий шарик для пинг-понга и т.д. Что получается на фотографии? Изображение быстродвижущегося предмета обычно бывает нечётким, его контуры размыты, как показано на рис. 155. Чтобы этого избежать, на фотокамере можно поставить специальный режим съёмки с укороченным временем экспозиции. Но наш глаз – не фотокамера. Как он решает эту проблему?

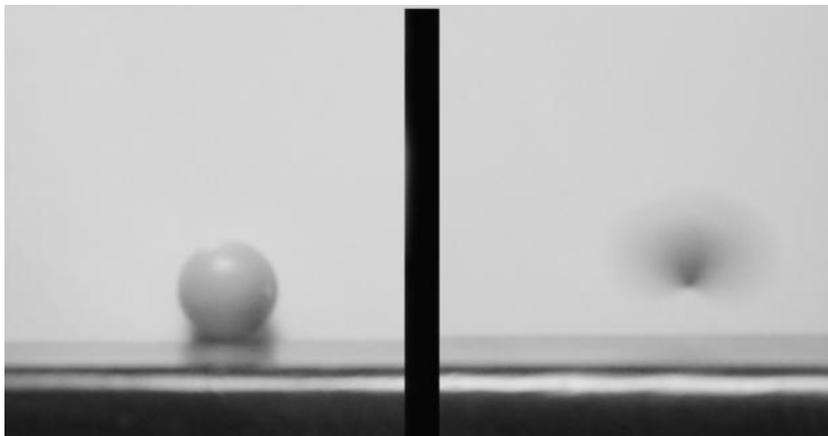


Рис. 155. Фото неподвижного и быстро движущегося шарика

Вернёмся к кинофильмам. В кино часто приходится снимать сцены погони, автогонок и др. Если взять видеозапись подобных сцен и

посмотреть отдельные кадры, то видно, что изображения на кадрах размыты, но при просмотре видеозаписи этого не видно. Таким образом, зрительная система умеет превращать размытые предметы в обычные образы. Для зрительной системы размытое изображение – не изменение предмета, а *признак быстрого движения*. Кстати, мультипликаторы знают это, и рисуют движущиеся фигурки чуть-чуть размытыми. Тогда при просмотре мультфильма движение становится более плавным.

Можно ли по тому, как размыто изображение, определить направление движения предмета?

Возможно, Вы видели, как в ясную погоду на большой высоте летит самолёт, и от него остаётся белый след, как показано на цв. рис. 156. Можно ли по следу определить, в каком направлении пролетел самолёт?

Очевидно, что сразу за самолётом след будет более ярким, а вдали он тускнеет и вовсе исчезает. Примерно также будет вести себя сигнал от быстродвижущегося объекта.

«Палочки» видят в темноте лучше «колбочек». Но они и более медлительны. Поэтому «след» от быстродвижущихся объектов сохраняется лучше на «палочках». «Палочки» больше используются в периферийном (боковом) зрении, поэтому мы фиксируем быстродвижущиеся предметы именно периферийным зрением. Можете провести простой эксперимент. Поместите около виска палец или карандаш. Вы его не видите. Теперь быстро пошевелите им. Вы не увидите палец, но ощутите боковым зрением движение. Лучше этот эксперимент проводить вдвоём, чтобы Вы не знали, в какой именно момент палец начнёт движение.

Возможно, Вам приходилось сидеть летом за столом и читать книгу, как вдруг у Вас сбоку что-то мелькало. Просто пролетела муха. Мухи летают быстро. Они могут спокойно пролететь мимо Вас за $1/25$ секунды. Разглядеть, что именно пролетело, зрительная система не успеет. Но след на сетчатке останется – пролетевшая муха окажет воздействие на клетки сетчатки. Экспериментально определено, что человек способен среагировать на сигнал длительностью до $1/40$

секунды, что ещё раз подчеркивает удивительные способности нашего мозга.

Сигнал воздействия на фоторецепторы хранится недолго. Но этого времени хватает, чтобы мозг получил сигнал, что что-то пролетело рядом с человеком и в какую сторону полетело, то есть, где остаточный сигнал сильнее.

Заметим, что «исчезающий след» показывает глубокое различие между человеческим глазом и видеокамерой. Камера «схватывает» кадр, и уровень воздействия на светочувствительную матрицу (то есть информация об интенсивности света, попавшего в данную точку видеокамеры) хранится, пока он не будет считан с элементов матрицы и записан в память.

«Исчезающий след» на сетчатке может появиться не только при быстром движении. Иногда нас может ослепить свет прожектора в театре или в цирке, свет фары встречного автомобиля, солнечный зайчик и т.д. Ощущение не из приятных. Даже если быстро закрыть глаза, белое пятно света некоторое время остаётся перед глазами.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Не подвергайте своё зрение опасности – не смотрите специально на сильный свет. Если Вас ослепил сильный свет, старайтесь как можно скорее отвернуться, прищуриться и т.д. Берегите зрение других! Не пускайте солнечные зайчики прямо в глаза!

Признаки движения важны только для быстродвижущихся объектов, которые находятся в поле зрения менее $1/20$ с. Более медленные движения мозг успеет частично распознать и уже потом определит, как, куда и что двигалось.

Таким образом, признаки движения позволяет человеку уловить быстрые движения предметов, даже не определяя, что именно двигалось. Благодаря этой удивительной способности зрения мы можем замечать события, время протекания которых намного меньше $0,1$ с – времени человеческой реакции, о которой мы поговорим позже.

42. ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

Любите ли Вы, сидя на уроке, смотреть в окно? Авторы надеются, что нет. На уроке нужно смотреть на учителя, на доску или к себе в тетрадь. Куда направлен наш взгляд – туда и обращено наше внимание. Если наш взгляд направлен за окно, то наше внимание привлекает колышущаяся листва деревьев, летающие птички и бабочки, а объяснения учителя остаются на заднем фоне.

Обращали ли Вы внимание на то, как порой бывает сложно сосредоточиться, *зафиксировать* свой взгляд на тексте учебника. Вы в очередной раз пытаетесь зафиксировать взгляд на середине страницы, но на страницу вдруг села божья коровка – и Ваш взгляд переключился на неё. Вы стряхнули божью коровку и снова зафиксировали взгляд на тексте, но в это время Ваше боковое зрение уловило, как Ваш сосед бросил кому-то ластик и Ваш взгляд переключился на отслеживание траектории ластика...
Управляем ли мы нашими глазами или нет?

С одной стороны – да, поскольку мы можем сознательно *зафиксировать* свой взгляд на любом интересующем нас объекте. Но с другой стороны, многие движения наш глаз совершает автоматически, подсознательно. Если линию нашего взгляда пересечёт движущийся предмет, то взгляд автоматически переключится на него.



ПРАКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Чтобы сосредоточиться на работе с учебником и тетрадью уберите из ближней зоны движущиеся предметы, в том числе включённый телевизор. Меняющееся изображение на экране будет привлекать Ваше внимание, даже если Вы думаете, что не смотрите телевизор.

Движение на заднем фоне отвлекает. Это хорошо знают артисты. Когда им приходится выступать не в театре, а на временных сценах на открытом воздухе, они стараются организовать хотя бы занавес, чтобы происходящее вдали на заднем плане не отвлекало внимание зрителей.

Таким образом, нашему сознанию подконтрольна лишь малая часть движений, которые совершают наши глаза.

На этом основано искусство определять по глазам: врёт человек или говорит правду. Когда человек пытается что-то скрыть, он начинает нервничать, что отражается в ускоренном движении зрачков.

Когда рассматриваемый объект человеку нравится, его зрачки немного расширяются. Расширение зрачков происходит также при удивлении. В случае негативной реакции человек хочет прищурить или закрыть глаза или просто отвести взгляд в сторону.

Когда человек пытается что-то вспомнить или представить (например, места, где он был прошлым летом), то его взгляд перестает фокусироваться на окружающих предметах, и зрачки могут подняться вверх.

Обычно это движения очень быстры и длятся доли секунды, но опытным психологам достаточно и этого. Впрочем, движение зрачков не всегда позволяет однозначно определить: говорит человек правду или пытается её скрыть.

Заметим, что взгляд «глаза в глаза» бывает очень неприятен. Продолжительный взгляд незнакомого человека в глаза пугает и может быть воспринят как наличие агрессивности и угрозы. Напротив, влюблённые могут подолгу смотреть друг другу в глаза, испытывая только положительные эмоции.

Какие ещё движения совершают зрачки?

Мы уже знаем, что при разглядывании предметов наши зрачки совершают сложные движения, перемещая направление взгляда от одной точки к другой (рис. 108). По-научному, эти повороты зрачка называются *саккадами*, что в переводе с французского означает «хлопок парусом». Эти повороты зрачка глаз очень быстрые и происходят скачкообразно – один скачок занимает всего от 0,01 с до 0,1 с (в зависимости от амплитуды поворота), при этом зрачок поворачивается от нескольких сотых градуса до нескольких градусов. Далее взгляд замирает на 0,2 – 0,6 с (время фиксации), после чего происходит следующий скачок ... и т.д. В среднем время фиксации

в 10 раз больше времени саккады (скачка). За время фиксации объект может выйти из поля наблюдения центром сетчатки (жёлтое тело), это называется *дрейф*, тогда положение зрачка может быть быстро скорректировано микро саккадой.

Загадочным образом мышцам глаз удаётся совершать столь быстрые движения совершенно согласовано (синхронно). Без этого бинокулярное зрение было бы невозможно. Наличие синхронного движения глаз обнаружил в XIX веке уже упоминавшийся немецкий физик и психолог Герман фон Гельмгольц.

Почему во время скачка изображение не смазывается?

Глаз устроен удивительно сложно. Механизм этого явления является загадкой: во время саккады (скачка) чувствительность сетчатки резко падает, то есть во время скачка взгляда между точками фиксации зрительная информация в мозг не поступает. Поэтому контуры объектов при саккадах не смазываются. Более того, экспериментально установлено, что если во время саккады быстро сдвинуть предмет, то этого часто не замечают. Так же является загадкой, как именно контролируется направление и амплитуда движения глаз при саккадах.

Саккады столь быстры и малы по амплитуде, что мы их не замечаем ни у себя, ни у других. Мы можем увидеть лишь *следающие* движения глаз, когда наши собеседники смотрят за движущимся мячом или автомобилем. Эти движения гораздо более медленные и плавные.

Вы ещё не запутались с движением зрачков? Рассмотрим пример. Пусть мы смотрим из окна поезда на пробегающий мимо пейзаж. Обычно мы фиксируем взгляд на какой-нибудь точке и провожаем её плавным следящим движением, пока она не скроется из поля зрения. Затем наши зрачки совершают скачок (саккаду) и находят новую точку фиксации.

Другой пример: Вы читаете книгу. Дети – дошкольники и младшеклассники обычно читают медленно, фиксируют внимание на каждой букве, подолгу её рассматривая и вспоминая как она называется, как произносится. Детям лучше давать книги с крупным текстом, чтобы им было легче фиксировать взгляд на буквах, и

легче их распознавать.

У взрослых процесс чтения доведен до автоматизма. Глаза совершают быстрые саккады (скачки) от буквы к букве, и затем большой скачок от конца строки к началу следующей.

Книги для взрослых могут иметь более мелкий шрифт. Но очень мелкий шрифт вреден для чтения. Так же для чтения вредно постоянное движение книги. Глазу приходится всё время совершать дополнительные саккады (скачки) в поисках продолжения текста.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Берегите зрение! Не читайте слишком мелкий текст. Не читайте при слабом освещении, глазам сложно распознавать текст. При чтении на ярком солнце пользуйтесь затемнёнными очками. Держите текст на расстоянии наилучшего зрения 25 – 30 см. Если врач Вам прописал очки, не пренебрегайте ими. Избегайте читать в транспорте при сильной тряске. Если Вам очень нужно читать в транспорте, то лучше не прислоняйте книгу к спинке сидений и др. предметам, а держите в её руках, чтобы уменьшить амплитуду колебаний. Помните: книг в Вашей жизни будет ещё много, а здоровье – одно.

Но этим движения зрачков не ограничивается. Зрачки постоянно совершают ещё один тип движений, о существовании которого узнали только в конце XX века.

Наши зрачки постоянно испытывают мелкое дрожание. Дрожат они очень быстро – от 20 до 150 раз в секунду, гораздо быстрее, чем происходят саккады (скачки) при рассматривании объектов. Но при этом амплитуда дрожания очень мала, гораздо меньше, чем у саккад, она составляет менее одной десятой градуса. Эти мелкие дрожания называют *тремор* (от лат. *tremor* – дрожание). Заметить эти дрожания сложно даже с помощью видеокамеры, поэтому об их существовании до недавнего времени даже не подозревали. Вообще в медицине тремором называют любые дрожания мышц, не обязательно глазных. Получается, что у здоровых людей мышцы, двигающие зрачки, должны всё время испытывать мелкую дрожь.

При этом правый и левый зрачки дрожат независимо друг от друга.

Физиологическое значение тремора зрачков является полной загадкой. Возможно, таким способом зрачки отслеживают направление смещения точки фиксации и дают мозгу информацию, в какую сторону она сдвинулась. А далее мозг даст команду мышцам зрачков на очередной прыжок (саккаду).

Всё вышесказанное относится к нормальному движению глаз. Существуют ещё движения глаз, вызванные заболеваниями, которые мешают воспринимать окружающий мир. Но это относится к области медицины, и мы в неё заходить не будем.

Чередование плавных движений и быстрых саккад называется *нистагмом* от греч. *νυσταγμός* – дремота. Почему такое странное название? Возможно, потому что медленные ритмичные колебания глаз могут вызвать дремоту. Этим пользуются некоторые гипнотизёры. Смотри «глаза в глаза», они побуждают зрачки к ритмичным колебаниям, что вводит человека в гипнотическое состояние. К сожалению, иногда это делается с недобрыми намерениями. В гипнотическом состоянии человек может спокойно отдать ключи от квартиры, и вообще, сказать и сделать много такого, о чём затем будет жалеть.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Избегайте смотреть незнакомым людям в глаза, особенно на улице! Среди них могут быть недобросовестные гипнотизёры! Кроме того, пристальный взгляд в глаза незнакомым людям может быть расценён ими как проявление возможной агрессии.

Итак, наши глаза являются поистине уникальным механизмом. Для выполнения своих удивительных способностей глаза без отдыха совершают многочисленные сложные движения.

43. ИЛЛЮЗИИ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Авторы предупреждают читателей от повторения многих описанных ниже экспериментов. Они были многократно воспроизведены большим числом людей, так что их можно считать достоверными. При их воспроизведении возможны головокружение, тошнота и другие неприятные ощущения. Если Вы всё же решитесь повторять эксперименты, то не делайте сразу несколько экспериментов во избежание утомления глаз.

До сих пор мы говорили об удивительных способностях нашего зрения. Теперь нужно сказать и о недостатках.

Главным недостатком наших глаз является то, что они устают. Фоторецепторы («палочки» и «колбочки») расходуют светочувствительные пигменты, и для их восстановления требуется время. Что поделаешь! Видеокамерам тоже требуется подзарядка аккумуляторов.

Авторы надеются, что читатели не доводят свои глаза до того, что они начинали болеть. Но даже небольшое утомление глаз приводят к появлению оптических иллюзий.

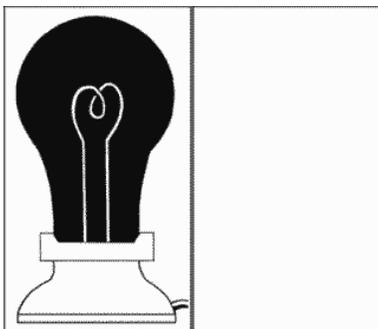


Рис. 157.

Эффект последействия.

Повторять описанный ниже эксперимент не рекомендуется.

На следующем рисунке Вы видите лампочку (рис. 157).

Если пристально смотреть, не отрывая взгляда, на центр спирали в течение 30 – 60 секунд, а затем быстро перевести взгляд на соседнее поле или лист белой бумаги, то лампочка на короткое время из чёрной превратится в белую, а нить станет тёмной!

Почему?

Пока мы смотрели на рисунок лампочки, клетки сетчатки вырабатывали свой ресурс. Клетки, на которые попали тёмные области рисунка практически не устали, поскольку на них свет не падал. Клетки, на которые попали светлые области (нить лампы) устали сильнее.

Когда мы переводим взгляд на белый лист бумаги, то на все клетки сетчатки начинает падать интенсивный белый свет. Клетки, на которые падал чёрный цвет, и которые не устали, увидят лист белым. Клетки, на которые падал белый цвет, и которые успели устать, увидят белый цвет более тусклым – тёмно-серым или чёрным.

Эффект длится недолго. Зрительные клетки восстановятся, и Вы увидите белый лист бумаги.

Чтобы эффект хорошо получился, нужно постараться смотреть всё время в одну точку, в центр спирали. Время сосредоточенного разглядывания центра спирали индивидуально. Можно попробовать начать с 30 секунд и постепенно увеличивать время. Пристально смотреть на рисунок более 60 секунд не рекомендуется.

Подобный эксперимент можно провести с любым чёрно-белым рисунком. Чтобы увидеть его в необычном виде нужно сделать инверсию, т.е. поменять белый цвет на чёрный, а чёрный – на белый. Это можно сделать с помощью графических редакторов, например, *Adobe Photoshop*. Желательно, чтобы в центре картины была точка, на которой можно было сосредоточить взгляд.

А можно ли наблюдать этот эффект на цветном рисунке? Можно, будет ещё интереснее.

Повторять описанный ниже эксперимент не рекомендуется.

Посмотрите на цв. рис. 158. Что Вы на нём видите? Флаг неизвестной страны. Если пристально смотреть в течение минуты на точку в центре флага, а затем перевести взгляд на соседнее поле или белый лист бумаги, то мы увидим... Российский флаг!

Почему так получилось? С верхней частью флага мы уже разобрались. Свет от чёрной полоски клетки сетчатки практически не возбуждает, поэтому они не устают и готовы при переносе взгляда на белую бумагу передать полноценный сигнал.

Средняя полоска флага светло-коричневая. Она будет воздействовать на колбочки, отвечающие за красный и зелёный цвета, а колбочки, отвечающие за синий цвет, отдыхают. Когда мы переведём взгляд на белый лист, то уставшие колбочки, отвечающие за красный и зелёный цвета, дадут уменьшенный сигнал, а колбочки, отвечающие за синий цвет, дадут сигнал в «полную силу». Поэтому мы увидим синюю полосу.

Аналогично, нижняя полоска флага сине-зелёная. Она будет воздействовать на колбочки, отвечающие за синий и зелёный цвета, а колбочки, отвечающие за красный цвет, отдыхают. Когда мы переведём взгляд на белый лист, то уставшие колбочки, отвечающие за синий и зелёный цвета, дадут уменьшенный сигнал, а колбочки, отвечающие за красный цвет, дадут полноценный сигнал. Поэтому мы увидим внизу красную полосу.

В интернете можно найти другие варианты цветовых иллюзий.

44. ИЛЛЮЗИЯ АРИСТОТЕЛЯ

Иллюзии известны с древнейших времен. Живший в IV веке до н.э. древнегреческий мыслитель Аристотель (384 – 322 до н.э.) описал следующую иллюзию. Если в течение длительного времени издали смотреть на водопад, а затем быстро перевести взгляд на неподвижную гору, то возникает иллюзия, что скалы на горе движутся вверх.

Иллюзия Аристотеля связана со свойством адаптации (привыкания). Всё время анализировать падение воды утомительно. Мозг бережёт свои ресурсы. Он перестаёт непрерывно анализировать одно и то же движение, считая его постоянно происходящим. Когда взгляд переводится на неподвижные скалы, мозгу требуется некоторое время (обычно, доля секунды), чтобы адаптироваться к новой

реальности, и видеть неподвижные скалы неподвижными.

На эту иллюзию похожа другая, также описанная Аристотелем. Эта иллюзия не является зрительной, то есть нас могут подвести не только глаза, но и руки. Глаза можно закрыть. Теперь скрестите указательный и средний палец правой руки как показано на рис. 159, и водите ими вдоль носа так, чтобы нос оказался между пальцами. Левая сторона указательного пальца скользит вдоль одной стороны носа, а правая сторона среднего пальца – вдоль другой. У большинства людей возникает ощущение, что у них два носа. Так происходит, потому что мы привыкли «ощупывать» предметы при обычном, а не скрещенном расположении пальцев.



Рис. 159. Иллюзия Аристотеля

45. ЗАГАДОЧНЫЕ ДВИЖЕНИЯ НЕПОДВИЖНЫХ ФИГУР



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Длительное рассматривание движущихся рисунков может вызвать головокружение, тошноту и др. неприятные ощущения.

Посмотрите на рисунки (цв. рис. 160 и 161). Вам не кажется, что круги вращаются, а зёрна шевелятся?

Этого же не может быть! Рисунок на бумаге не может двигаться!

Нет, Вы не сошли с ума. Это совершенно нормально. Вращение кругов видит большинство людей. Если Вы сконцентрируете внимание на центре одного из кругов или на каком-нибудь зерне, то видимое движение прекратится, хотя остальные части рисунков могут продолжить движение.

Автор этих рисунков – уже упоминавшийся выше профессор Акиоши Китаока. Он назвал вращающиеся круги на цв. рис. 160 змеями.

Существует много вариантов рисунков с якобы движущимися фигурами. Только Акиоши Китаока создал десятки подобных рисунков.

Рисунки с «движущимися» фигурами известны давно. Вспомним, что в приведённой выше иллюзии Карла Геринга (рис. 144) серые пятна в пересечении белых линий также не стояли на месте, а «скакали».

Большое число «движущихся» картин создала в 1960-ые годы английская художница Бриджит Райли (*Bridget Riley*, род. 1931, пишут также Бриджет). Посмотрите на них (рис. 162 и 163).

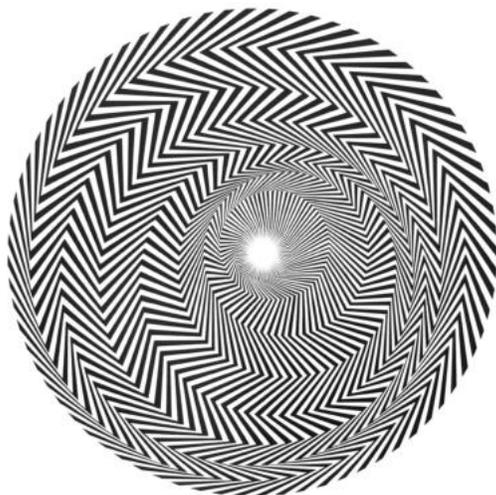


Рис. 162. Бриджет Райли. Пламя (*Blaze*) (1962)

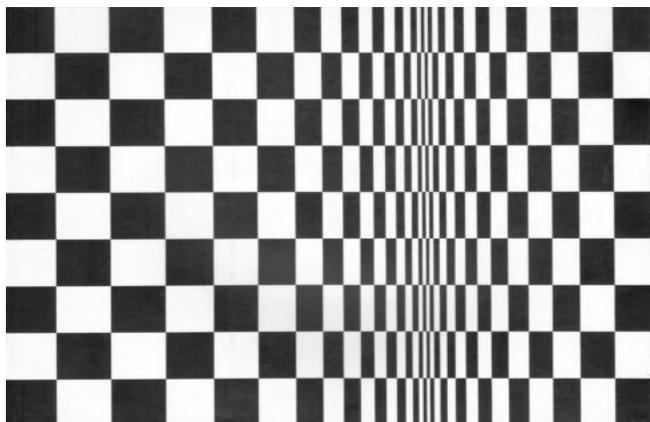


Рис. 163. Бриджит Райли. Движущиеся квадраты (1961)

Если эти рисунки сразу не пришли «в движение», то попробуйте изменить расстояние до рисунка или, не сводя глаз с картины, подвигать головой.

Далее Вы видите широко известный рисунок (рис. 164) японского художника Хадзиме Оучи (*Hajime Ouchi*).

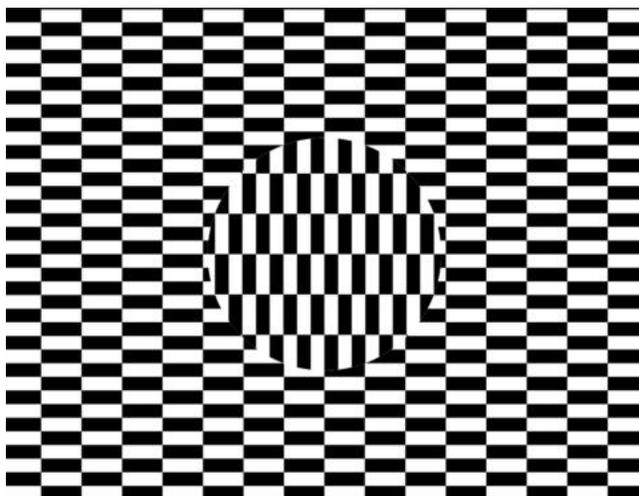


Рис. 164. Иллюзия Оучи (1977)

Ещё один рисунок на эту тему – «фрактальная иллюзия» (цв. рис. 165). Фрактальным (от лат. *fractus* – раздробленный) называют рисунок, состоящий из одинаковых (или почти одинаковых) узоров, выполненных в разных масштабах.

В чём причина этих иллюзий?

Загадка движущихся картин разгадана не до конца. Существуют разные объяснения движений неподвижных картин, но их сложно назвать исчерпывающими.

Заметим, что:

1) Если зафиксировать (сосредоточить) взгляд на какой-то части рисунка, то движение в этом месте останавливается. Это можно объяснить тем, что за иллюзию движения ответственно периферийное (боковое) зрение.

2) Эффект иллюзии сильнее, когда наблюдатель устаёт. Иногда даже предлагается использовать иллюзию движения для оценки степени утомлённости зрения.

3) Все картины с иллюзией движения состоят из большого числа мелких контрастных деталей, что заставляет наш взгляд всё время двигаться по рисунку, рассматривая его. При этом большая часть рисунка находится в области периферийного зрения.

4) Узоры картин построены по определённому порядку: светлый (белый), темнее и ещё более тёмный (чёрный). Это чередование характерно для разобранных выше «*признаков движения*».

Именно стремление нашего мозга находить признаки движения является наиболее убедительным объяснением возникновения этих иллюзий.

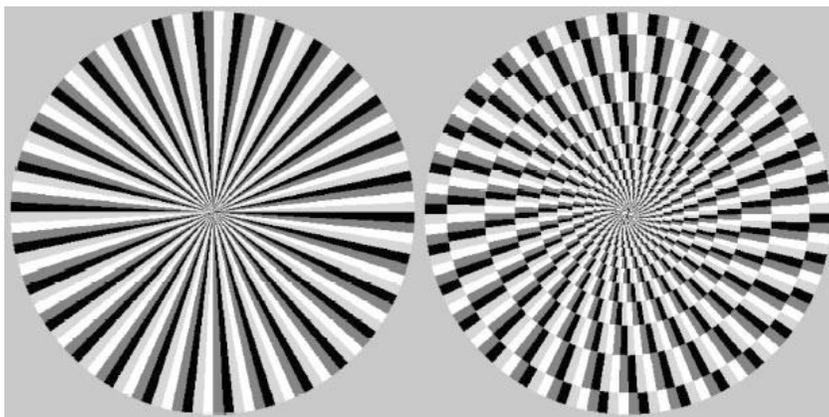
«Змеи» на цв. рис. 160 вращаются в направлении: белая линия, цветная (серая для палочек), чёрная.

Хотя разумом мы понимаем, что рисунки на бумаге двигаться не могут, зрительная система распознаёт образы и определяет наличие «*признаков движения*» на подсознательном уровне.

Если мы сосредоточимся на какой-нибудь определённой точке рисунка, например, на центре «змеи», то мы будем рассматривать её «колбочками» – иллюзия пропадёт (или уменьшится). В это же время остальной рисунок мы рассматриваем периферийным зрением, преимущественно «палочками», и остальные «змеи» продолжат свое вращение.

Необходимость большого числа мелких деталей иллюстрируют следующие два рисунка (рис. 166 и 167). Видите ли Вы их вращение?

После прекрасно вращающихся змей вращение этих кругов едва заметно. Но всё же видно, что круг на рис. 167 вращается лучше, чем на рис. 166. Просто больше мелких деталей.



*Рис. 166. Иллюзия движения.
Вы видите вращение круга?*

*Рис. 167. Иллюзия движения.
Здесь круг вращается лучше?*

Почему важно, чтобы рисунок имел много мелких деталей? Для иллюзии нужно, чтобы взгляд всё время рассматривал рисунок, тогда большая часть рисунка попадёт в область периферийного зрения, и движение продолжится.

Профессор нейрофизиологии в университете Нью-Йорка (США) Сюзанна Мартинес-Конде (*Susana Martinez-Conde*, род. 1969) с коллегами выяснили, что при рассматривании иллюзии с

движущимися «змеями» на цв. рис. 160 активизируются те же отделы мозга, что и при взгляде из окна быстро движущегося поезда. Это также свидетельствует, что иллюзия связана с желанием мозга рассмотреть быстрое движение.

Аналогично объясняется иллюзия движения в других картинах. У зёрен на цв. рис. 161 есть узкая кайма: чёрная с одной стороны и белая – с другой. Замечательно, что эта кайма на первый взгляд почти не заметна. Если спросить у зрителей, видящих эту картину в первый раз, сколько на ней цветов, то обычно отвечают, что на ней два цвета: зелёный и коричневый. Только очень внимательный читатель с первого взгляда различит тонкую кайму вокруг зёрен. И, даже разглядев кайму, вряд ли наш мыслительный аппарат придаст ей значение. Но в том то и дело, что «признаки движения» проявляются не на уровне сознания, а на уровне подсознания. Именно это малозаметная чёрно-белая кайма задает «признаки движения», и без неё нет иллюзии. Если нарисовать те же зёрна, заменив белую кайму цветом фона или цветом зёрен (цв. рис. 168), то эффект иллюзии ослабевает. Если закрасить и чёрную кайму (цв. рис. 169), то иллюзия движения исчезнет совсем.

Почему же зёрна не перемещаются от края к краю рисунка, а кольшутся вперед – назад? Скорее всего, зрительная система улавливает и передаёт в мозг признаки движения зёрен. Мозг направляет взгляд в сторону кажущегося движения зёрен, но там их мозг не находит. Это вызывает иллюзию обратного движения зёрен. Поэтому зёрна совершают небольшие колебания.

На других «движущихся» рисунках также есть чередования раскрашенных полос. Яркие (белые) полосы чередуются с менее яркими серыми или цветными (которые «палочки» воспринимают как серые), затем идут тёмные полосы.

46. СПОСОБНОСТЬ ПРЕДВИДЕНИЯ

Можете ли Вы поймать летящий мяч? Конечно, Вы много раз это делали, играя в вышибалы, баскетбол, футбол и др. игры. Возможно, Вам удавалось это не всегда. Особенно это сложно, когда мяч летит быстро, а Вы замечаете его слишком поздно, так, что даже не успеваете среагировать на него. Чтобы успешно ловить мячи, нужна хорошая реакция, то есть, малое *время реакции*.

Время реакции – это время между тем, как Вы заметили какое-то событие, например, что в Вас бросили мяч, и тем, как Вы успели сделать какое-то действие: поднять руку, прыгнуть и пр.

Время человеческой реакции составляет 0,1 – 0,3 с. Время реакции можно уменьшить путём тренировок – почаще ловить мячи. Но даже у тренированных людей это время не намного меньше 0,1 с.

Существуют специальные компьютерные тесты для измерения времени реакции: на экране возникает изображение, а Вам нужно нажать клавишу. После этого компьютер сообщает, сколько времени прошло, прежде чем Вы её нажали.

Если у Вас нет подобной программы, измерить время реакции можно с помощью линейки. Нужно два человека. Один держит линейку вертикально за верхний конец, а второй держит пальцы вблизи нижнего конца линейки, **не касаясь его**, как показано на рис. 170. Задача: поймать линейку, после того, как первый играющий её отпустит. Время реакции t – это время между моментом, когда второй игрок заметит, что линейка начала падать, и моментом, когда его пальцы соединятся. За это время линейка пройдет расстояние $l = gt^2/2$, где g – ускорение свободного падения, равное примерно 10 м/с^2 . Измерив путь, который прошла линейка, т.е. расстояние между нижним концом линейки и местом, где пальцы схватили линейку, можно вычислить время реакции. У Вас хорошее время реакции, если линейка успевает пролететь менее 5 см.

Десятая доля секунды – это много или мало? Если предмет движется быстро, например, шарик для пинг-понга, то доля секунды решает всё. Но если от игры в пинг-понг наша жизнь не зависит, то в старой игре «хищник – добыча» промедление в долю секунду

может стоить жизни добыче и голода (и, в конечном счете, тоже жизни) хищнику. Можно ли сократить время реакции?



Рис. 170. Измерение времени реакции

Мы уже знаем, что обработка зрительной информации проходит в несколько этапов. Сначала сигнал от клеток сетчатки поступает на ганглиозные клетки, где происходит первичная обработка информации, затем сигнал идёт по зрительному нерву в мозг, где происходит окончательное распознавание образа. Только после этого Вы уже можете сознательно реагировать на событие.

Предварительная обработка информации, с одной стороны, позволяет облегчить работу мозга, но с другой стороны, это замедляет обработку информации. Не сильно, может, на десятую долю секунду, но иногда эта доля секунды может стать решающей.

Может нам не нужно сто миллионов зрительных клеток? Может, лучше бы нам иметь меньше клеток сетчатки в ущерб качеству изображений, зато обработка заняла бы меньше времени?

Но природа нашла изящное решение проблемы. Она пошла по пути развития вычислительных способностей мозга.

Оказывается, наш мозг обладает воистину фантастической способностью – он на подсознательном уровне успевает не только обработать информацию, но ещё и рассчитать ход событий!

Мы видим быстродвижущийся предмет не там, где он попал в поле зрения глаза, а там, где он будет примерно через десятую долю секунды, т.е. когда мозг завершит распознавание образа, и мы будем реагировать на событие. То есть, мозг не только распознает предмет, но и передвинет его в пространстве, чтобы мы увидели его там, где он как раз и будет находиться.

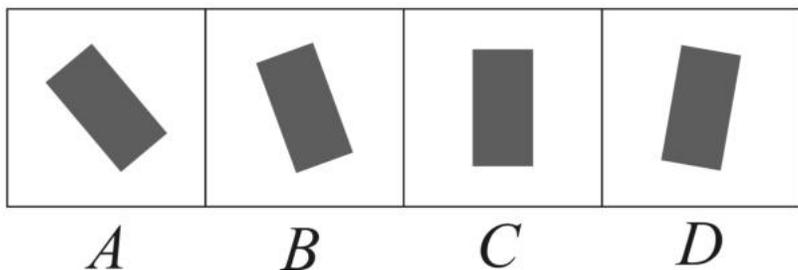
Это свойство мозга можно продемонстрировать на простом эксперименте с «запаздывающей вспышкой», предложенным в 1990-ые годы Роми Ниджхаваном из университета в Сассексе (Великобритания).

По плоскому столу катится шарик. Когда он проезжает мимо лампочки на столе, она вспыхивает. Если бы мы видели именно то, что происходит на самом деле, мы бы видели, что в момент вспышки шарик находится рядом с лампой, как показано на рис. 171, слева. Но все зрители видят, что когда лампа вспыхивает, шарик уже проезжает мимо неё (рис. 171, справа).



*Рис. 171. Эксперимент Роми Ниджхавана.
Истинное (слева) и кажущееся (справа) положение шарика*

Другой подобный эксперимент был проведён в 1980-ые годы психологом Орегонского университета (США) Дженнифером Фрейдом. В нём показывался видеоролик с вращающимся прямоугольником. Последнее положение прямоугольника показано на рис. 172, положение *C*. Но зрители видят последнее положение прямоугольника, как показано на рис. 172, положение *D*. То есть, мозг обработал информацию и показал прямоугольник, как будто он продолжил свое вращение еще долю секунды.



*Рис. 172. Эксперимент Дженифера Фрейда.
Какой кадр был последним?*

Получается, что наш мозг нас (в который раз!) обманывает, и мы видим предмет не там, где он был на самом деле. Но этот обман может оказаться для нас жизненно необходим. Представим себе, что в нас летит опасный предмет. В какой-то момент времени его зафиксирует сетчатка глаза. За время, пока мозг обрабатывает изображение (обычно десятая доля секунды), предмет уже будет ближе к нам. Если мы увидим его там, где он был «схвачен» сетчаткой, то наше сознание получит неправильную, устаревшую информацию об его положении. Неверное представление о положении предмета может привести к тому, что наше сознание не сможет принять правильное решение: в какой точке нужно ловить мяч или (что важнее!), в какую сторону отпрыгнуть от падающего кокоса. Но вычислительные способности нашего мозга таковы, что, обрабатывая изображение, он успевает передвинуть быстро движущийся предмет, и наше сознание получает исправленную информацию о положении предмета, что может сохранить нам жизнь. Заметим, что «исправление» положения предметов проходит на уровне подсознания, и мы обычно просто не замечаем этой огромной вычислительной активности нашего мозга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы заканчиваем наш путь по калейдоскопу занимательных картинок и удивительных экспериментов. Конечно, мы не посмотрели и малой доли картинок с оптическими иллюзиями – это просто невозможно сделать даже в очень толстой книге, не говоря уже об иллюзиях движения, для показа которых нужны видеоролики. Кто хочет посмотреть больше иллюзий может просто зайти в интернет и набрать в любой поисковой системе ключевые слова: «оптические иллюзии» или «зрительные иллюзии».

Мы не ставили задачи показать много иллюзий. Наша задача состояла не в перечислении, а в *осмыслении* иллюзий, выявлении причин их появления.

Авторы надеются, что читатели прониклись удивительными возможностями нашей зрительной системы, которая постоянно, ежеминутно, ежесекундно (на самом деле много раз в секунду) собирает информацию об окружающем мире, мгновенно распознаёт знакомые образы, представляет их в цвете и объёме, соединяет изображения правого и левого глаза в единое целое, улавливает движение и даже успевает рассчитать, что должно произойти через десятую долю секунды. И всё это происходит на подсознательном уровне, ведь мы даже не замечаем, какую огромную работу ежесекундно проделывает наш мозг. Наше зрение таит ещё много загадок, и, возможно, именно Вам удастся разобраться в них.

Как мы уже говорили, для изучения зрения нужно знание многих наук: математики, физики, биологии, медицины, психологии... Вряд ли Вам удастся стать специалистом во всех этих науках, поэтому для успешной работы важно уметь объединять усилия большого коллектива учёных.

Надеемся, что теперь, увидев очередную иллюзию, Вы не скажете: «Как же я мог так попасться?», а скажете: «Ура! Я вижу иллюзию, значит, мой мозг в полной мере обладает удивительными способностями, описанными в этой книге!». А может, Вы сами, взяв карандаш, видеокамеру или компьютер, дополните и без того необъятную коллекцию иллюзий новыми шедеврами.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Решение задачи.

Схема наблюдения ученика за фигурами изображена на рис. П1 (вид сбоку) и на рис. П2 (вид сверху).

Поскольку размеры фигурок одинаковы, то фигурка, которая кажется меньше, – находится дальше. Расстояния от плоскости глаз до фигур обозначим L_1 и L_2 , истинную (а не на рисунке) высоту фигур – H . Размеры фигур h_1 и h_2 на рисунке П3 определяются углами φ_1 и φ_2 , под которыми их видит ученик. Все угловые размеры измеряем в радианах.

Из рис. П1 в силу малости углов:

$$\frac{H}{L_1} = \operatorname{tg} \varphi_1 \approx \varphi_1, \quad \frac{H}{L_2} = \operatorname{tg} \varphi_2 \approx \varphi_2. \quad (1)$$

Отсюда:
$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \quad (2)$$

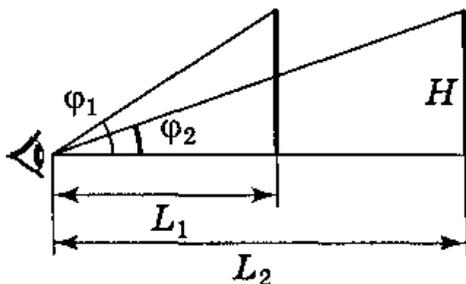


Рис. П1. Вид сбоку

Из рис. П2 в силу малости углов:

$$x_{II} = \alpha L_2, \quad x_{II} = \beta L_2. \quad (3)$$

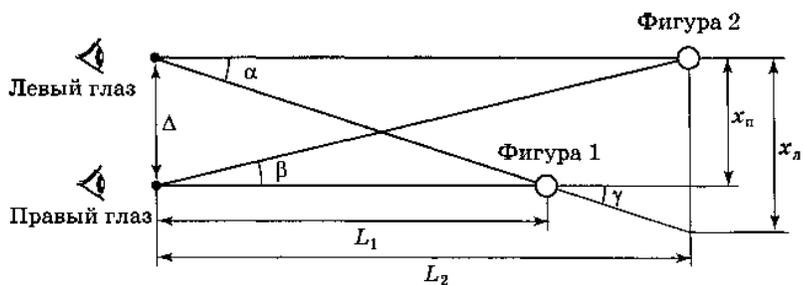


Рис. П2. Вид сверху

Единственный известный нам размер – расстояние между глаз. Обозначим его Δ . Из рис. П2 углы γ и Δ связаны соотношением:

$$\gamma = \frac{\Delta}{L_1}. \quad (4)$$

С другой стороны:

$$\gamma = \frac{x_{\text{л}} - x_{\text{п}}}{L_2 - L_1}. \quad (5)$$

Приравнивая (4) и (5) с учётом (3):

$$\frac{\Delta}{L_1} = \frac{x_{\text{л}} - x_{\text{п}}}{L_2 - L_1} = \frac{L_2(\alpha - \beta)}{L_2 - L_1}. \quad (6)$$

Подставляем (1) и (2):

$$\Delta = \frac{L_1 L_2 (\alpha - \beta)}{L_2 - L_1} = \frac{(\alpha - \beta)}{1/L_1 - 1/L_2} = \frac{H(\alpha - \beta)}{\varphi_1 - \varphi_2}.$$

Преобразуем:

$$H = \frac{\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)}{\alpha - \beta}. \quad (7)$$

Величины углов можно получить из приведенного в условии задачи рисунка (рис. 96), измерив размеры фигур на бумаге (а не

действительные размеры), как показано на рис. ПЗ (при этом мы считаем, что ученик не исказил угловые размеры). Если ученик, делая рисунок, держал лист бумаги на расстоянии L_0 , то:

$$\varphi_1 = \frac{h_1}{L_0}, \quad \varphi_2 = \frac{h_2}{L_0}, \quad \alpha = \frac{l_1}{L_0}, \quad \beta = \frac{l_2}{L_0}. \quad (8)$$

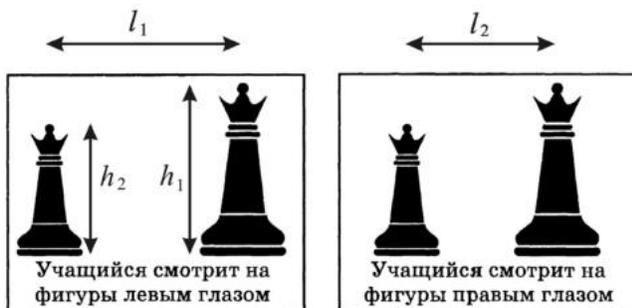


Рис. ПЗ.

Размеры фигурок и расстояний между ними на рисунке

Подставляем в (7):

$$H = \frac{\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)}{\alpha - \beta} = \frac{\Delta(h_1 - h_2)}{l_1 - l_2}. \quad (9)$$

Измерив величины h_1 , h_2 , l_1 и l_2 на рисунке, получим, что $H = \Delta = 6$ (см).

Ответ: высота фигурок равна 6 см.

Замечание. Зная расстояние L_0 до рисунка, мы можем также вычислить значения углов φ_1 , φ_2 , α и β , расстояние до фигурок и расстояние между ними. Обычно L_0 равно расстоянию наилучшего зрения – примерно 25 см.

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Я.И. Перельман.* Занимательная физика. – М.: АСТ. 2002 (первое издание – 1913).
2. *С. Толанский.* Оптические иллюзии. – М.: Мир. 1967.
3. *И.Д. Артамонов.* Иллюзии зрения. – М.: Наука. 1969.
4. *В.Е. Демидов.* Как мы видим то, что видим. – М.: Знание. 1979.
5. *Р. Грегори.* Разумный глаз. Как мы узнаем то, что нам не дано в ощущениях. – М.: УРСС. 2003.
6. *М. Чангизи.* Революция в зрении. – М.: АСТ. 2014.
7. *Д.Л. Раков, Ю.А. Печейкина.* Парадоксальный мир невозможных фигур и оптических иллюзий. – М.: ЛЕНАНД. 2017.

Библиотека физического общества им. А.Г. Столетова

Научно-популярная серия

Учебное пособие

Рыжиков Сергей Борисович

Рыжикова Юлия Владимировна

ЗАГАДОЧНЫЕ И УДИВИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБНОСТИ ЗРЕНИЯ

Подписано в печать 23.08.2018

Формат 60x90 1/16

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.-печ. л. 10,88.

Тираж 500 экз.

Заказ №1115

Отпечатано в типографии «Белый ветер»,
г. Москва, ул. Щипок, 28

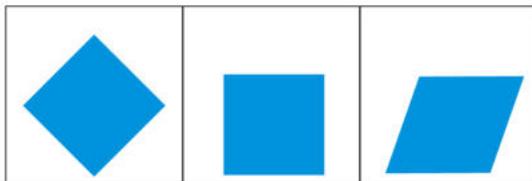


Рис. 3. Все ли фигуры являются квадратами?

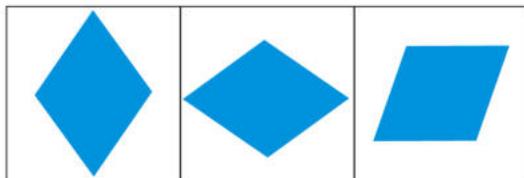


Рис. 4. Все ли фигуры являются ромбами?



Рис. 6. Люди на узком мосту – им не страшно?



Рис. 7. Мост – это всего лишь рисунок на стене

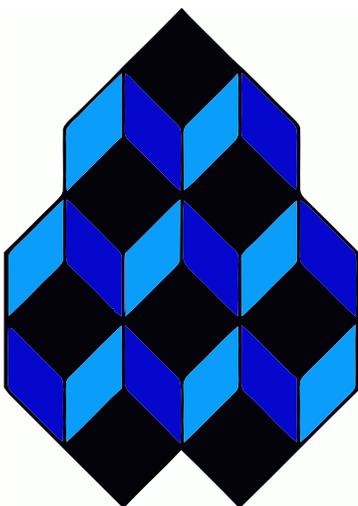
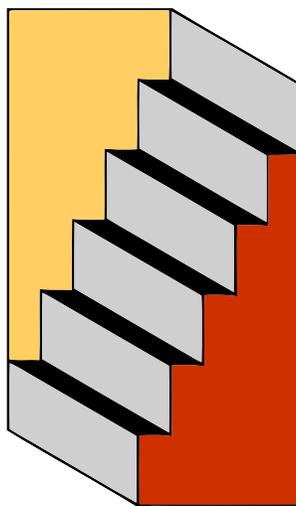


Рис. 9. Сколько здесь кубиков?



*Рис. 10. Загадочная фигура:
лестница, гармошка или ниша
в стене?*



Рис. 23. Скульптура «невозможного» треугольника (Австралия)



Рис. 24. Разгадка секрета скульптуры



Рис. 25. Скульптура «невозможного» треугольника (Бельгия)

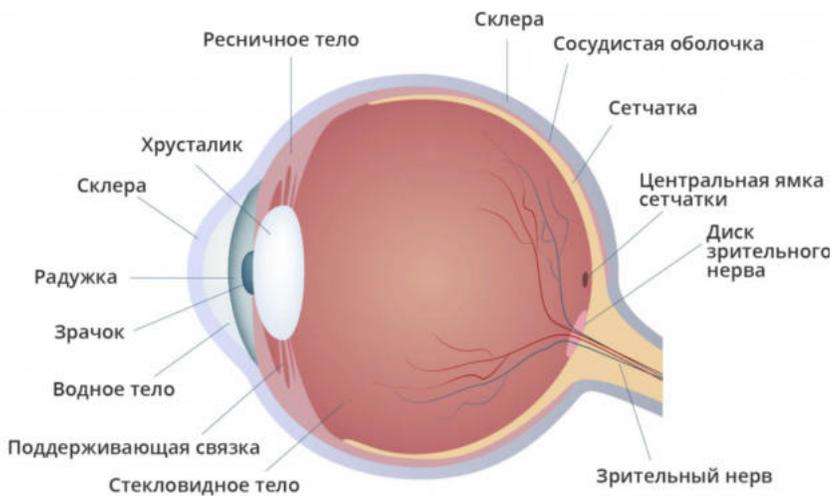


Рис. 28. Строение глаза

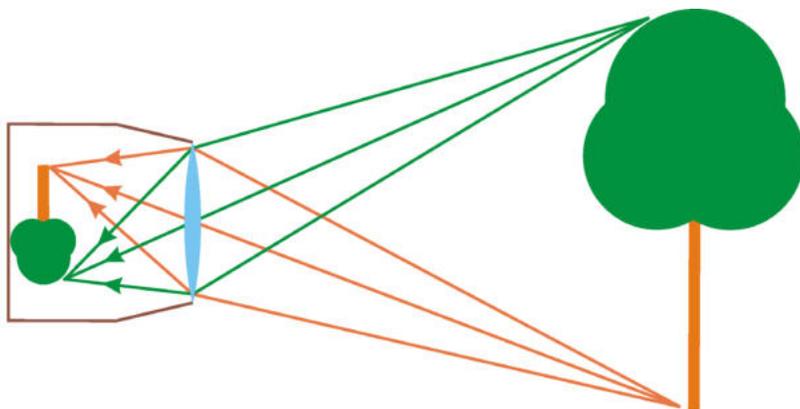


Рис. 29. Ход лучей в линзе

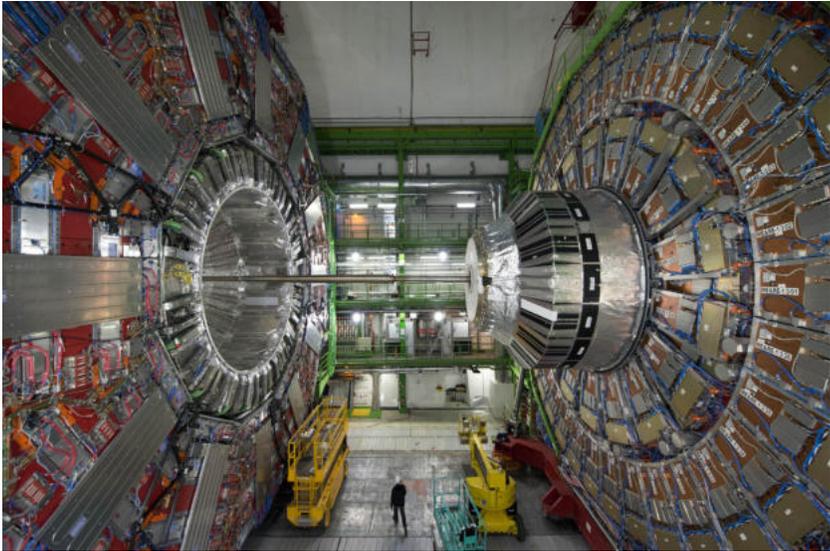


Рис. 32. Детектор Большого адронного коллайдера

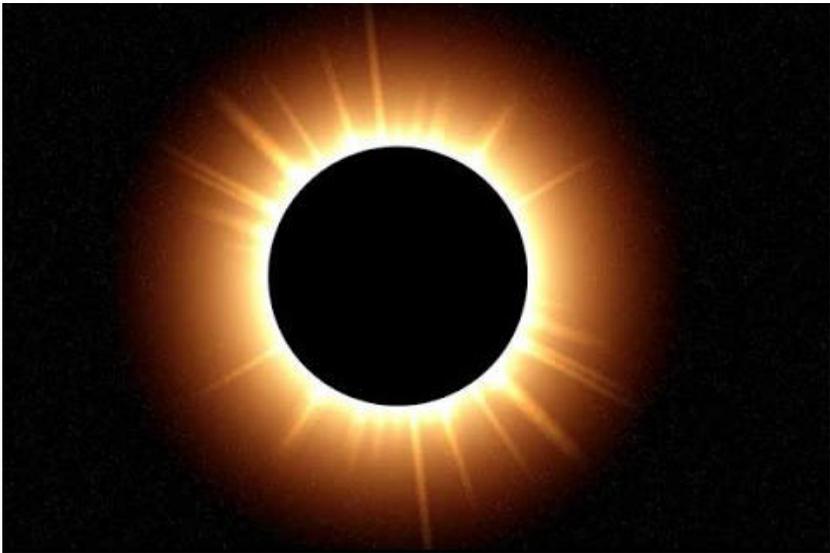


Рис. 33. Солнечное затмение



Рис. 34. Рельсы уходят за горизонт

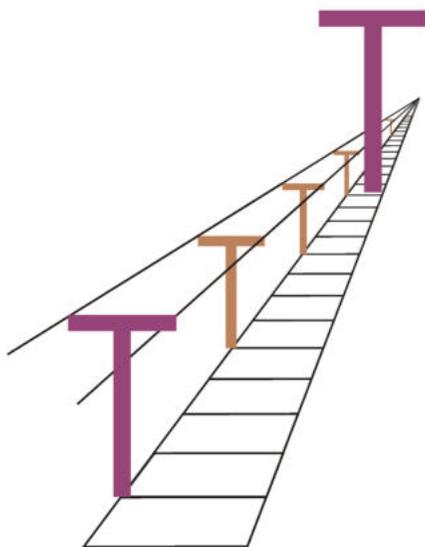


Рис. 35. Одинаковые ли размеры фиолетовых дорожных столбов?



Рис. 40. Поль Сезанн «Персики и груши»



Рис. 41. Икона Св. Троицы Андрея Рублева

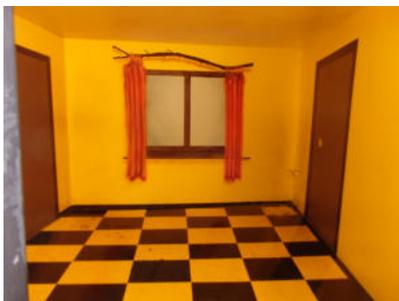


Рис. 43. Комната Эймса



Рис. 44. Кто больше:
ребенок или мама?



Рис. 45. А теперь кто больше?

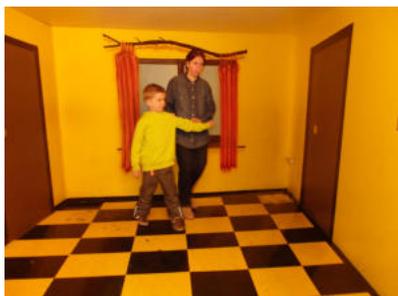


Рис. 46. Ребенок и мама вместе

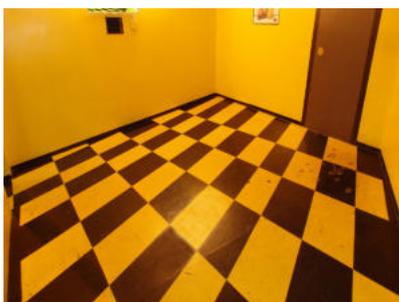


Рис. 47. Комната Эймса изнутри

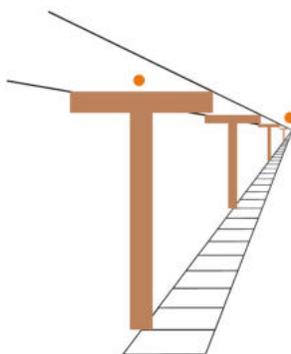


Рис. 48. Луна над телеграфным
столбом и у горизонта

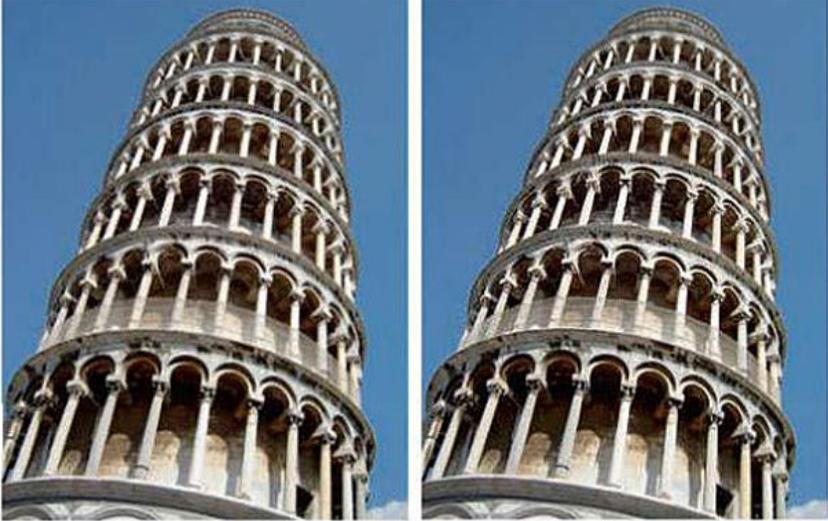


Рис. 55. Иллюзия Пизанской башни.
Обе башни наклонены одинаково?

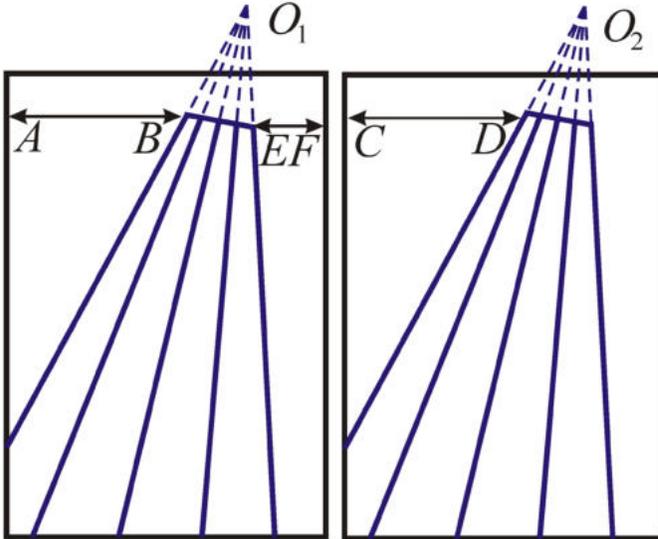


Рис. 56. К объяснению иллюзии Пизанской башни



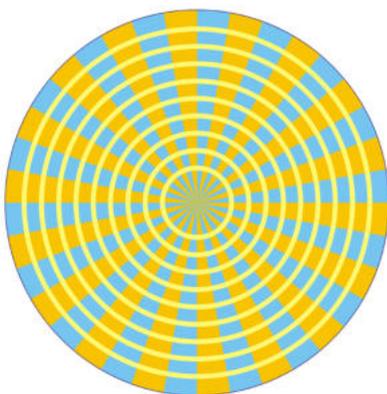
Рис. 82. Здание таможни в Мельбурне



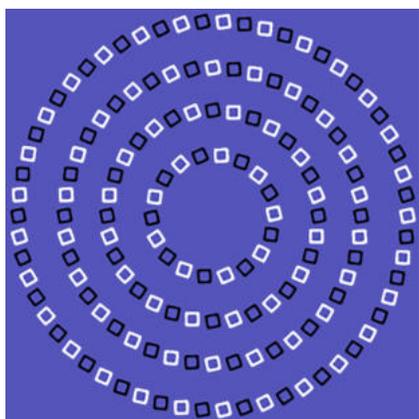
Рис. 84. Удобно ли стоять на «горбатых» балконах?



Рис. 85. К объяснению предыдущей иллюзии



*Рис. 87.
Здесь мы видим
концентрические окружности*



*Рис. 88.
Кубики сложены в спираль?*



Рис. 90. Во сколько раз врезка меньше большой фотографии?

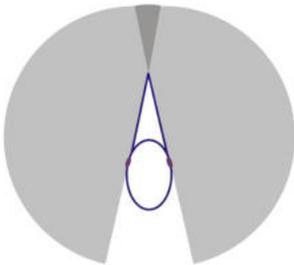


Рис. 94.

*Области обзора правого и
левого глаза у птиц*

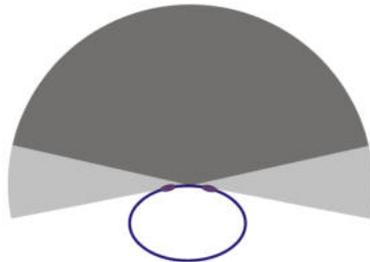


Рис. 95.

*Области обзора правого и
левого глаза у человека*



*Рис. 99а.
Старинный немецкий
стереоскоп*



*Рис. 99б.
Современный стереоскоп*



Рис. 101. Поляризаторы

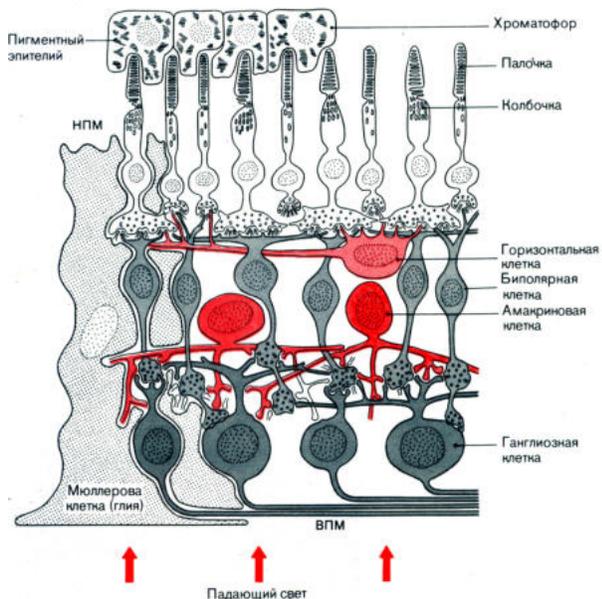


Рис. 104. Строение сетчатки

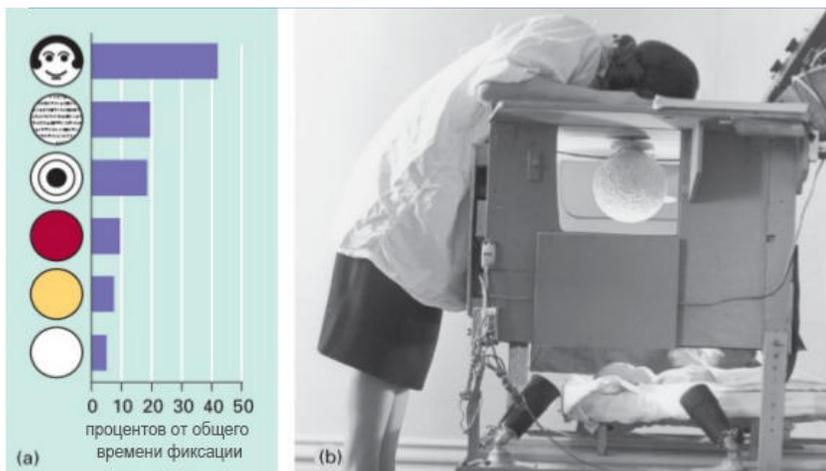


Рис. 109. Опыты Фентца со зрением младенцев



*Рис. 111.
Плакат времён
гражданской войны*



*Рис. 112.
Плакат XIX века,
призывающий в армию США*



Рис. 119. Необычная раскраска небоскрёбов в Бразилии



Рис. 127. Сальвадор Дали. Лебеди, отраженные в слонах (1937)



Рис. 128. Реклама Кока-колы? Вы уверены?

жёлтый синий фиолетовый чёрный
красный синий жёлтый зелёный
чёрный фиолетовый жёлтый синий
жёлтый синий зелёный чёрный
фиолетовый чёрный синий жёлтый
красный зелёный синий жёлтый

Рис. 129. Попробуйте назвать цвета слов

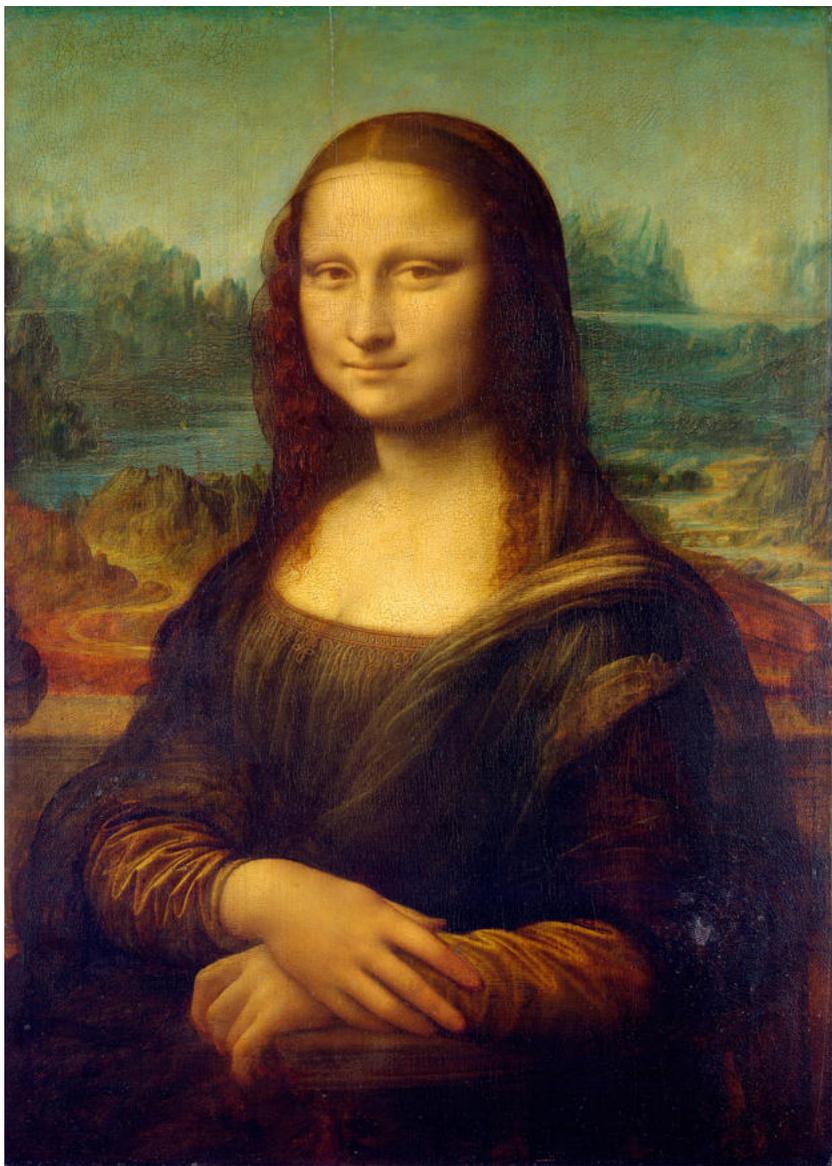


Рис. 131. Леонардо да Винчи. Джоконда (Мона Лиза)



Рис. 132. Джоконда. Фрагмент. Вы видите улыбку?

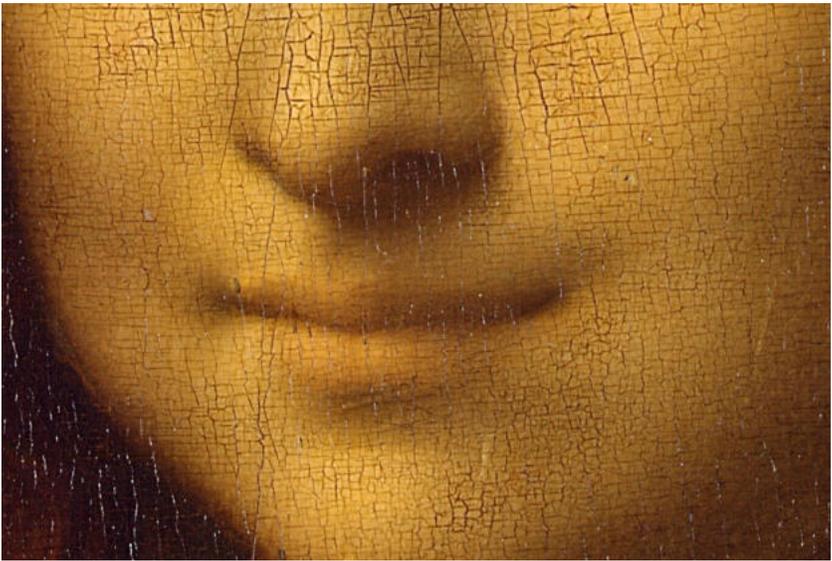


Рис. 133. А теперь Вы видите улыбку?



*Рис. 134.
Леонардо да Винчи. Прекрасная принцесса (1496)*



Рис. 135. Опыт Ньютона с разложением белого света



Рис. 136. Радуга в фонтане Самсон (Петергоф)



Рис. 138. Эксперимент с разложением и собиранием белого света двумя призмами



Рис. 139. Смешение цветов

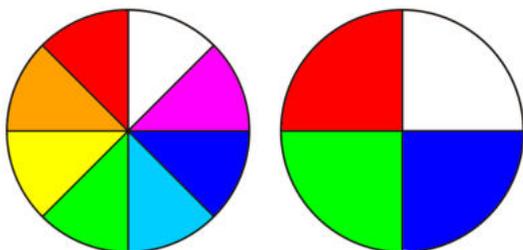


Рис. 140. Круги с цветными секторами



Рис. 141. Рак-богомол

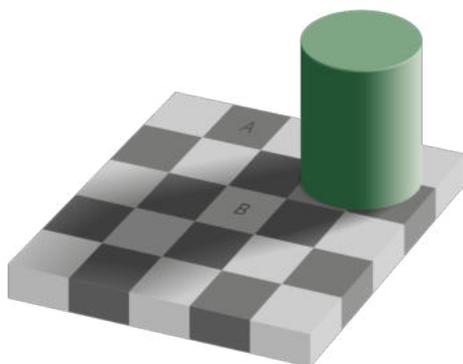


Рис. 142. Иллюзия Адельсона

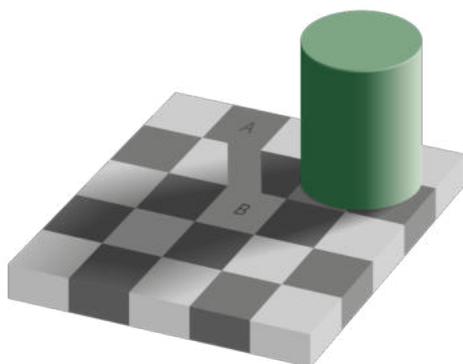


Рис. 143. К объяснению иллюзии Адельсона

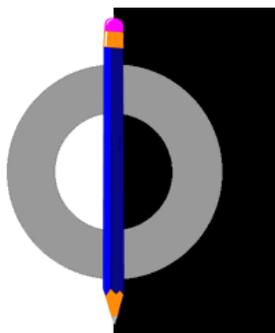


Рис. 146. Иллюзия Вертгеймера-Кохфки

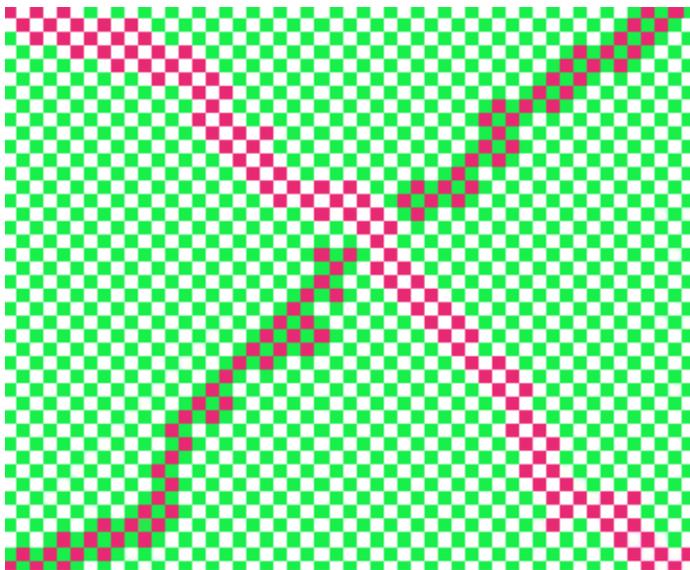


Рис. 148. Иллюзия цвета. Сколько оттенков зелёного Вы видите?

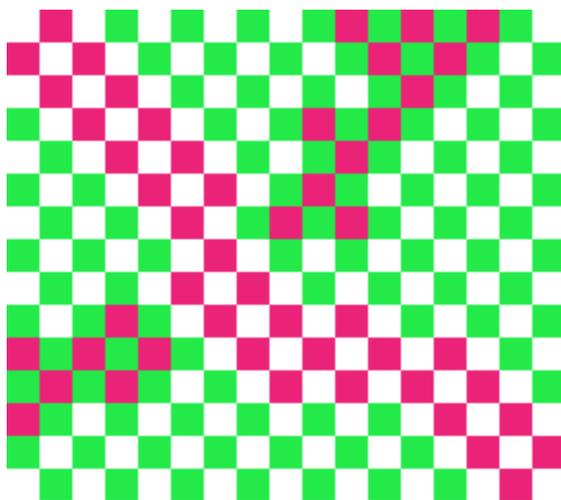


Рис. 149. Фрагмент предыдущей картины

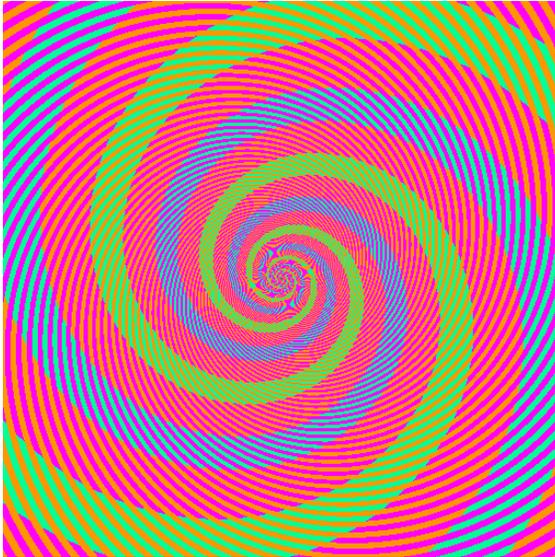


Рис. 150. Иллюзия Акиоши Китаока

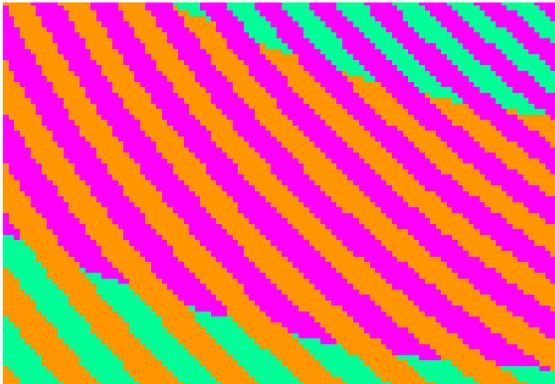


Рис. 151. Фрагмент предыдущей картины

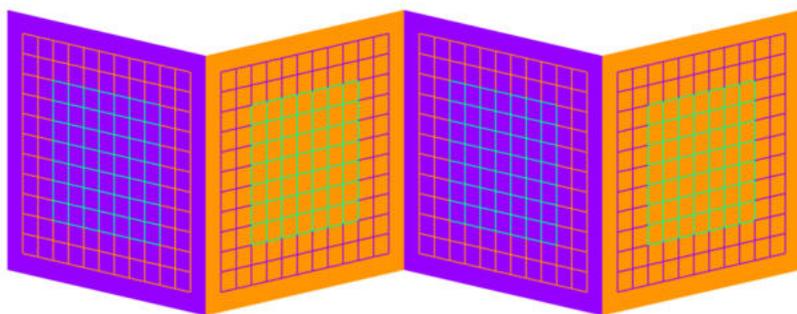


Рис. 152. Иллюзия цветных квадратиков

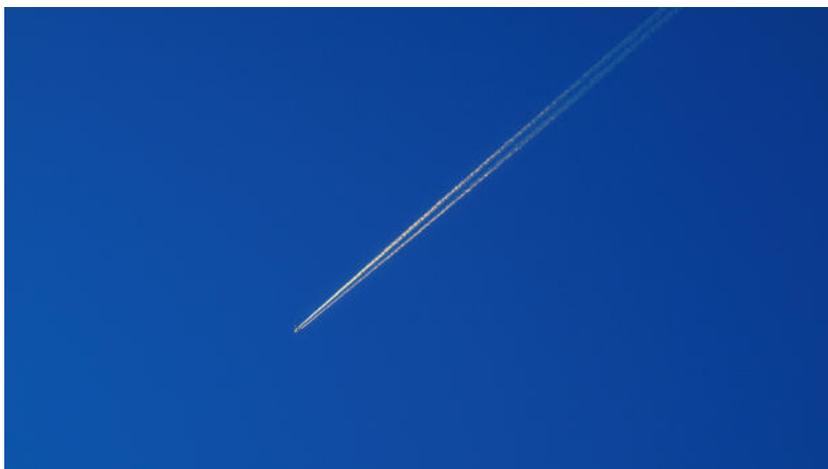


Рис. 156. В каком направлении летит самолёт?

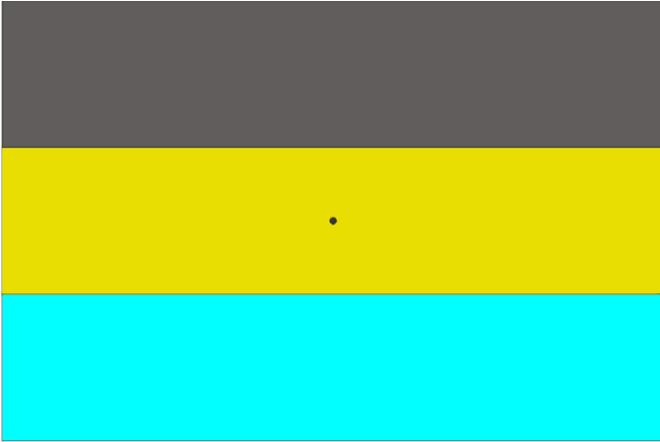


Рис. 158. Иллюзия флага

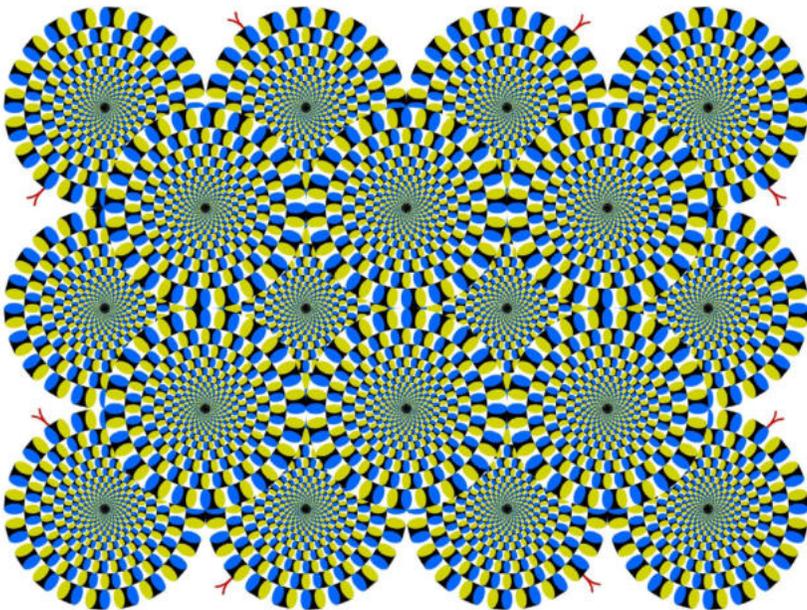


Рис. 160. Иллюзия движущихся змей Акиоши Китаока

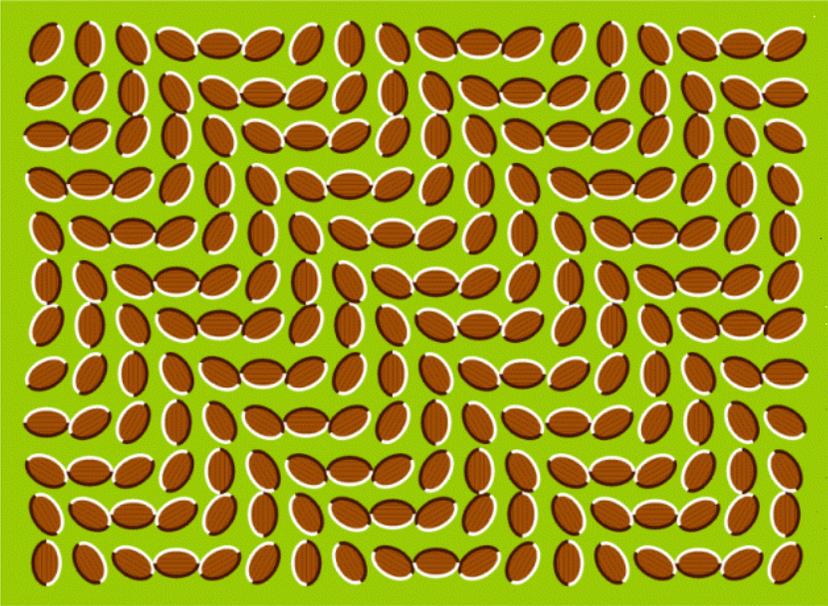


Рис. 161. Иллюзия кольшущихся зёрен Акиоши Китаока



Рис. 165. Фрактальная иллюзия

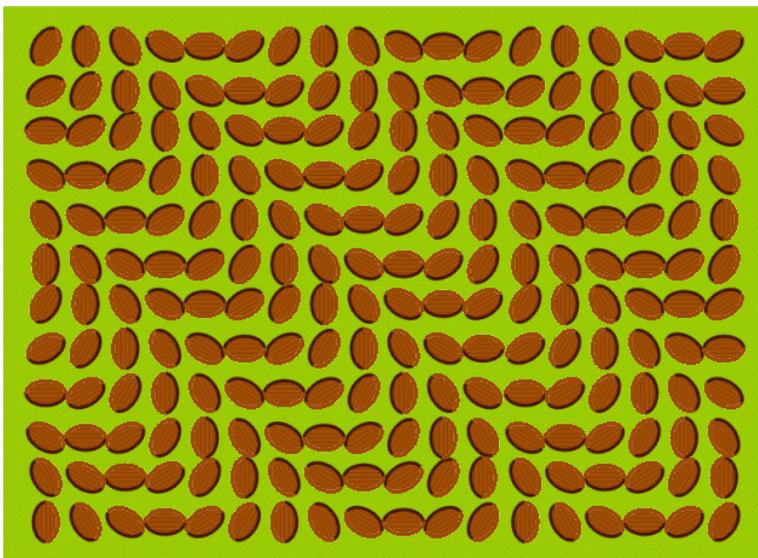


Рис. 168. Зёрна без белой каймы. Движение сохранилось?

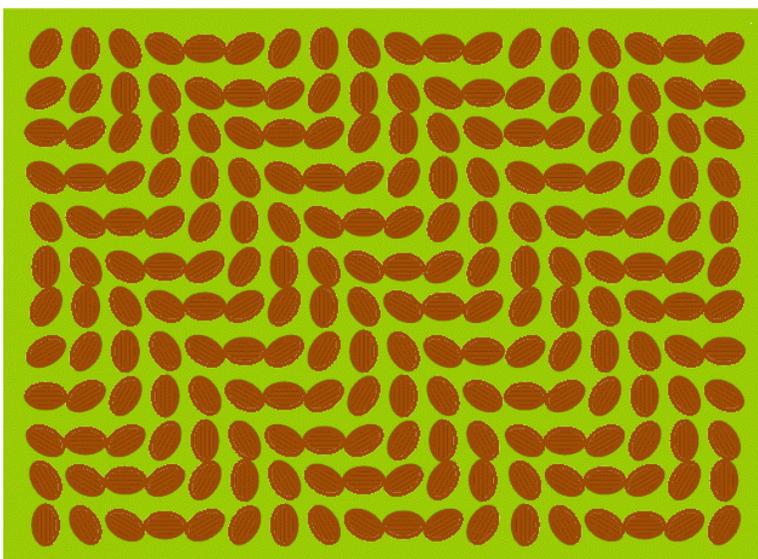


Рис. 169. Зёрна без белой и без чёрной каймы. Вы ещё видите движение?



Рыжиков Сергей Борисович, доцент физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, учитель лицея «Вторая школа».



Рыжикова Юлия Владимировна, ведущий научный сотрудник физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Приходилось ли Вам видеть оптические иллюзии? На улице, в книгах, в телевизоре, в интернете? Почему возникают иллюзии? Неужели наше зрение так несовершенно? Авторы уверены в обратном! Совершив путешествие по страницам этой книги, Вы узнаете, что наше зрение обладает удивительными способностями, о которых мы обычно даже не задумываемся! А иллюзии – это всего лишь побочный эффект этих удивительных и ещё не до конца изученных способностей!