

Физический раздражитель

Разумеется, физическим раздражителем для зрительной системы является свет? Свет — это форма **излучения электромагнитной энергии**, принадлежащего к тому же классу явлений, что и рентгеновские лучи, радарные и радиоволны (рис. 3.2). Физические свойства света являются следствием его двух дополняющих друг друга особенностей: 1) свет — волновое явление, непрерывная череда волн пульсирующей, или осциллирующей, энергии; частота этих пульсаций может быть переведена в единицы длины волны (этот вопрос будет обсужден в следующем разделе) и 2) свет ведет себя так, как энергия, которая выделяется в виде непрерывного потока отдельных частиц, или квантов, энергии. Квант энергии излучения называется *фотоном*, и количество фотонов, выделяемых источником света, — количество энергии излучения — определяет его **интенсивность**. Следовательно, свет характеризуется как длиной волны, так и интенсивностью. С этими двумя физическими характеристиками связаны разные психологические явления.

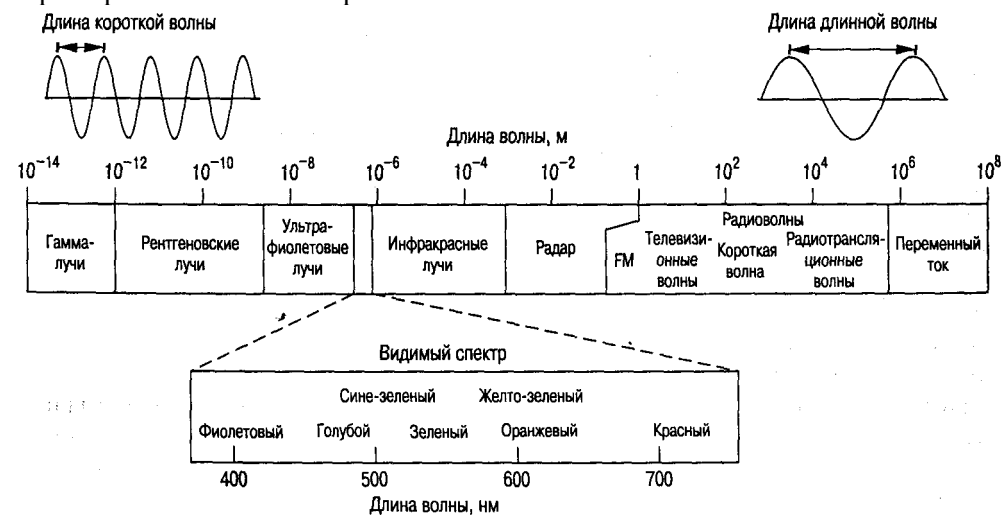


Рис. 3.2. Электромагнитный спектр

Видимая часть спектра в увеличенном виде приведена на нижней части рисунка. Единицы, в которых представлен спектр, — длины волн, соответствующие расстояниям между двумя последовательными пиками, возникающими при распространении волновой энергии. Это явление иллюстрируется схематическим изображением коротких и длинных волн, представленным над спектром

Длина волны

Свет — это форма излучения электромагнитной энергии, передающейся в виде бесконечного потока волн. А это значит, что существует определенный порядок, чередование пиков и провалов, или депрессий, который может быть описан с помощью понятия «длина волны». Под длиной волны источника света понимают физическое расстояние между двумя пиками, измеренное в единичном волновом цикле; она является критически важной характеристикой физических свойств, оказывающих существенное влияние на ощущение и восприятие. Соответствующий психологический, или субъективный, эффект, оказываемый волнами разной длины, заключается в том, что наблюдатель воспринимает разные *цвета* или *оттенки*. (Вопрос о восприятии цветов будет обсужден в главе 5.)

Длины волн, входящих в электромагнитный спектр, изменяются в очень широких пределах — от триллионных долей метра до многих километров. Очень короткие и очень длинные волны невидимы. Как следует из рис. 3.2, очень короткие волны имеют гамма-, рентгеновские и ультрафиолетовые лучи, а длинные волны — это электрическая энергия (переменный ток) и радиоволны. Однако волны, имеющие существенное значение для зрительных систем большинства животных, занимают относительно малую часть всего спектра электромагнитных волн.

Насекомые, некоторые птицы и некоторые грызуны (Chen et al., 1984; Jacobs et al., 1991) обладают чувствительностью к волнам, примыкающим к ультрафиолетовой части спектра; кроме того, некоторые змеи имеют особые сенсорные органы, воспринимающие инфракрасное излучение. Однако при нормальных условиях большинством позвоночных свет — лучистая энергия — воспринимается только в виде волн длиной от примерно 380 нм (нм — нанометр, миллиардная доля метра) до примерно 760 нм. Этот интервал представляет собой лишь узкую полоску спектра, его семидесятую часть. Если предположить, что озоновый слой, расположенный в 15 милях от поверхности Земли, не поврежден, то отчасти причиной восприятия только ограниченной части спектра может быть то, что этот слой играет роль фильтра, в результате чего 80 % солнечной энергии, достигающей Земли, — это волны, длина которых лежит в диапазоне между 300 и 1100 нм. Кроме того, попадая в воду, свет претерпевает ряд физических превращений, включая абсорбцию, рассеивание и даже в определенной мере угасание. Есть литературные данные, свидетельствующие о том, что ультрафиолетовые волны, проходя через слой воды толщиной в несколько миллиметров, полностью гаснут, а для поглощения инфракрасных волн нужен слой толщиной примерно 1 м, в результате чего и остается лишь незначительная часть спектра, представленная на рис. 3.2 в увеличенном виде (Walls, 1963, p. 373). Так, обитающие в воде виды, зрение которых адаптировано к доступному им спектру, и те из обитающих на суше животных, чье происхождение связано с зародившимися в воде формами жизни, воспринимают волны одной и той же длины.

Однако, как уже отмечалось выше, известны и некоторые исключения из этого правила, достойные упоминания. Некоторые ночные холоднокровные животные используют способность теплокровных животных излучать инфракрасный свет. Такие змеи, как гремушие и гадюки, охотятся на мелких животных и птиц в темноте, используя для этого специальные органы, расположенные возле их глаз и спо-

собные создавать инфракрасное, или «тепловое», изображение того, что находится в непосредственной близости от них, и прежде всего — их тепловкровой добычи. Точно так же многие виды насекомых и птиц могут воспринимать коротковолновый ультрафиолетовый свет (Chen et al., 1984).

Интенсивность

Под физической интенсивностью света понимают количество энергии излучения, содержащейся в источнике света. Соответствующий субъективный, или психологический, эффект, оказываемый интенсивностью на наблюдателя, называется **яркостью**. Здесь необходимо подчеркнуть разницу между интенсивностью и яркостью, поскольку она подтверждает важное и имеющее общий характер различие между физическим стимулированием и его психологическим эффектом. Несмотря на то что, как правило, при изменении интенсивности изменяется и яркость, термин *яркость* относится к сенсорному впечатлению — субъективному опыту индивидуума — и является следствием интенсивности света. Иными словами, в то время как *интенсивность* является физическим свойством света, *яркость* — это впечатление, производимое интенсивностью света, воздействующего на зрительную систему. Разница между этими понятиями была подробно рассмотрена в предыдущей главе при обсуждении степенного закона Стивенса. Мы, в частности, показали, что изменение физической интенсивности света не обязательно приводит к пропорциональному изменению сенсорного опыта, т. е. яркости. Так, увеличение интенсивности вдвое не увеличивает яркость в два раза. Для двукратного усиления

Таблица 3.1

Фотометрические термины, единицы и их физический смысл

Термин	Единица	Физический смысл
Освещенность (свет, падающий на поверхность)	Фут-свеча (ft-cd)	Освещенность поверхности площадью 1 фут ² стандартной свечой, расположенной от нее на расстоянии 1 фут
	Метр-свеча (m-cd)	Освещенность поверхности площадью 1 м ² стандартной свечой, расположенной от нее на расстоянии 1 м (1 m-cd = 0,0929 ft-cd, а 1 ft-cd = 10,76 m-cd)
Светимость (свет, отражающийся от поверхности)	Фут-ламберт (ft-L)	Общее количество света, отражающееся во всех направлениях от идеально отражающей и рассеивающей поверхности, освещенной 1 ft-cd
	Миллиламберт (mL)	1 mL = 0,929 ft-L, а 1 ft-L = 1,076 mL
	Свеча на квадратный метр (cd/m ²)	Количество света, отражающегося от идеально отражающей и рассеивающей поверхности, освещенность которой равна 1 метр-свеча (1 cd/m ² = 0,3142 mL = 0,2919 ft-L)

Примечание: Риггз (Riggs, 1966) предположил, что огромное, создающее немалые трудности количество терминов и единиц измерения освещенности связано с тем, что фотометрия, наука об измерении света, образовалась на базе целого ряда специфических потребностей соответствующей отрасли промышленности.

ния соответствующего сенсорного впечатления — яркости — необходимо примерно восьмикратное увеличение физической интенсивности.

Измерение интенсивности световых стимулов требует специально разработанных методов и оборудования, а результаты этих измерений выражаются в разных единицах, количество которых таково, что едва ли не сбивает с толку. Задумайтесь над тем, сколько параметров нужно измерить, чтобы охарактеризовать освещенную поверхность: количество света, поступающего от источника освещения (излучение), количество света, падающего на поверхность или освещающего ее, и количество света, отражающегося от поверхности. В табл. 3.1 представлены некоторые из общеупотребительных единиц измерения света.

Освещенность. Для обсуждения важны две характеристики поступающего извне света. Первая, освещенность, связана с физической интенсивностью света, падающего на поверхность или освещающего ее, т. е. с количеством падающего света. Общепринятой английской мерой освещенности является фут-свеча (ft-cd). Метрическая единица освещенности — метр-свеча.

Светимость. Как правило, мы не смотрим прямо на источник света; большая часть света, который мы видим, — это свет, отраженный от поверхности. Интенсивность света, отраженного от освещенной поверхности, называется светимостью. Английская единица светимости — фут-ламберт (ft-L). Второй общеупотребительной единицей светимости является миллиламберт (mL) и свеча на квадратный метр (cd/m²). В табл. 3.2 представлены данные об уровне светимости некоторых типичных источников стимулирования.

Таблица 3.2

Яркость, обеспечиваемая типичными визуальными сигналами

	Шкала светимости, mL	
Поверхность солнца в полдень	10 ¹⁰	Ослепление
	10 ⁹	
	10 ⁸	
Вольфрамовая фольга	10 ⁷	Цветное зрение
	10 ⁶	
Белая бумага на солнце	10 ⁵	
	10 ⁴	
Комфортное чтение	10 ³	
	10 ²	
Белая бумага в свете луны	10*	Бесцветное зрение
	1	
	10 ⁻¹	
	10 ⁻²	
	10 ⁻³	
Белая бумага в свете звезды	10 ⁻⁴	
	10 ⁻⁵	
Абсолютный порог	10 ⁻⁶	

* 10 mL равны примерно 9,3 ft-L или 32 cd/m².

Источник: L. A. Riggs, in Vision and Visual Perception, edited by C. H. Graham, John Wiley, New York, 1965, p. 26.

Попробуем обобщить сведения о свойствах света, имеющих непосредственное отношение к зрительной системе. Задумайтесь о тех из них, которые проявляются в тот момент, когда вы читаете эту страницу. Люстра, висящая в вашей комнате, или ваша настольная лампа излучают световую энергию (т. е. они дают *излучение*), и количество света, падающего на эту страницу и отражающегося от нее, определяют соответственно ее *освещенность* и *светимость*, а *яркость* — это чувствительный психологический эффект отражения света вашей зрительной системой. (Для простоты изложения мы не стали описывать технические различия между такими *радиометрическими* единицами, как ватт на единицу поверхности, которые имеют исключительно технический смысл и никак не связаны с воздействием света на наблюдателя, и *фотометрическими* единицами, учитывающими чувствительность зрительной системы человека.)