

СОДЕРЖАНИЕ

Вступление.....	7
1. Безмозглое большинство <i>Как чувствуют те, у кого нет мозга.....</i>	14
2. Мозг и первомозг <i>Мозг (или его отсутствие) — от губки до человека.....</i>	31
3. Обезьяноункул <i>Осязательные способности и чувство равновесия у животных.....</i>	46
4. Дело вкуса (и запаха) <i>Восприятие вкуса и запаха у животных.....</i>	63
5. Во все глаза (и уши) <i>Как животные слышат и видят.....</i>	83
6. Супернюхачи и супердегустаторы <i>Ограничения восприятия запаха и вкуса у человека.....</i>	94
7. Где я? <i>Пределы слуха и равновесия человека.....</i>	118
8. Телячьи нежности <i>Осязание и как оно связано с другими чувствами.....</i>	135
9. Глаза <i>Пределы человеческого зрения.....</i>	146
10. Всякое может случиться <i>Травмы мозга и их влияние на чувства.....</i>	164
11. Современная жизнь: апоплексические удары и чувства <i>Влияние инсультов и других нарушений головного мозга на сенсорную способность.....</i>	186

12. Мозг: целый/половинчатый/расщепленный	
<i>Люди с уникальным мозгом</i>	199
13. «Команда соперников» против «его несовершенства»	
<i>Разбираемся в кроссmodalных стимулах внешнего мира</i>	213
14. Нейронный мусор	
<i>Разбираемся с шумом окружающей среды</i>	227
15. Пани ка меуза, крем-брюле и синестезия	
<i>Как кроссmodalность действует на вкус и синестезию</i>	243
16. Коннектомы	
<i>Как работает мозг при кроссmodalных взаимодействиях</i>	268
17. Лица и галлюцинации	
<i>Узнавание лиц и галлюцинации как высшая форма восприятия</i>	283
18. Нобелевская премия Боба Дилана	
<i>Язык, грамотность и взаимоотношения чувств при создании литературных произведений</i>	300
19. Лицом к лицу с музыкой	
<i>Нейробиология музыки и живописи</i>	314
20. Нет пределов	
<i>Пределы работы органов чувств и будущее чувств</i>	333
Благодарности.....	344
Библиография и дополнительная литература.....	345

ВСТУПЛЕНИЕ

Человек — единственное существо на планете, умеющее думать, читать, петь, танцевать и говорить, то есть хорошо делать почти все, что связано с мышлением. Один из самых интересных подходов к пониманию этого уникального аспекта нашего существования заключается в изучении работы органов чувств, создающих восприятие человеком окружающей среды. Путь от изучения частиц света, звуковых волн, вкусовых и запаховых молекул и других явлений внешнего мира к исследованию того, что наш мозг воспринимает, создает захватывающую историю жизни людей в мире природы. За последние десятилетия в нейрофизиологии появились новые способы, благодаря которым можно взглянуть на наши чувства и разобраться в них. В результате различных нейробиологических открытий — от инновационных технологий визуализации до важных исследований генома и экспериментов недоступного ранее уровня сложности в когнитивной психологии — сформировалось более четкое понимание не только того, что значит видеть, слышать, обонять, осязать, сохранять равновесие и ощущать вкус, но и того, как эти чувства формируют наше эстетическое, художественное и музыкальное восприятие мира. Эта книга — подробное исследование уже известных фактов о наших чувствах и новых изысканий в этой области.

Трудно определить, что относится к чувствам, а что — нет. Например, равновесие считается таковым, но Аристотель не включал его в свою «большую пятерку» (слух, обоняние, зрение, вкус и осязание). Только недавно его отнесли к чувствам — отчасти из-за близости балансовых структур внутреннего уха к слуховой системе, но главным образом потому, что чувство равновесия сообщает нашим телам об их положении во внешнем мире. Некоторые утверждают, что существует ни много ни мало, а тридцать три отдельных чувства. И, как мы увидим в этой книге, наше восприятие мира редко опирается на одно-единственное чувство. Нейробиолог Лоуренс Харрис даже заявил: «Ни один орган чувств не функционирует независимо от других, а перечисление всех тридцати трех чувств может оказаться контрпродуктивным».

Очевидно, что вслед за равновесием к «большой пятерке» надо добавить и боль, или ноцицепцию. Восприятие боли — это интересная тема, которая по этическим соображениям обычно сводится к тому, чувствуют ли животные боль или нет. Некоторые считают, что даже растения испытывают боль, но мы должны различать реакцию или ее отсутствие на какой-то внешний раздражитель в нейронном контексте от реакции, не имеющей отношения к нервной системе. Реакция растений, в отличие от человека, не связана с нервной системой. Даже когда организм выдает нервную реакцию, нам нужно отличать реальную болевую реакцию от того, как мы воспринимаем боль. Мы называем эту реакцию болевой, потому что физически испытываем неприятное ощущение от ноцицептивных рецепторов, откликающихся на жару, холод или давление. Однако некоторые организмы с системами ноцицепции, возможно, не ассоциируют раздражитель с мучением. Например, мухи не останутся надолго в экстремально жарком месте и будут довольно любопытно реагировать на повышение температуры, но неизвестно, испытывают ли они при этом физическую боль. Считается, что даже рыбы не связывают ноцицепцию с болевым раздражителем, то есть не испытывают того, что мы называем болью. Некоторые исследователи утверждают, что рыбы не чувствуют боли, потому что их нервная система раз-

вита довольно слабо для ее восприятия (у них есть только минимально развитая кора головного мозга). При этом другие твердо убеждены, что реакция рыб на физическое раздражение есть не что иное, как боль. Мораль этой ноцицептивной истории такова: обсуждая чувства и перцепцию, мы должны знать, что мозг разных организмов воспринимает и транслирует сигналы окружающего мира неодинаково.

Восприятие тепла и холода тоже не относится к «большой пятерке» чувств. Мухи ощущают и тепло, и холод, как и многие другие многоклеточные эукариоты¹ и даже микробы, потому что и они, и люди имеют схожий молекулярный механизм восприятия температуры. У большинства организмов есть надежный защитный механизм от перегрева, называемый реакцией на тепловой удар: при экстремальных значениях активизируются определенные гены, которые производят белки, помогающие клеткам справиться с повышенной температурой. Существуют и другие гены — белки-антифризы. Они помогают клеткам справиться с холодом, а организму — выжить в условиях низких температур. Да, в этом случае молекулы клеток «воспринимают» тепло и холод, но можно ли сказать, что они делают это точно так же, как и весь организм в целом? «Чувствует» ли организм тепло и холод, зависит от того, есть ли у него мозг и как тот обрабатывает информацию.

Например, определенные гены в геноме мухи могут видоизменяться так, что она перестает ощущать тепло или холод. Эксперимент, в ходе которого выявляются мухи-мутанты, жесток: их помещают на электроплиту и наблюдают за ними. Обычные мухи спасаются бегством, когда температура поверхности становится выше температуры тела на 10–20 градусов. А вот мутанты продолжают сидеть на плите, даже когда их лапки начинают прижариваться. Существуют и аналогичные мутанты с устойчивостью

¹ Эукариоты, или ядерные, — надцарство организмов, клетки которых содержат ядро; к ним относятся грибы, животные и растения. — *Здесь и далее, если не указано иное, прим. перев.*

к холоду. Мы можем сделать вывод: мухи ощущают тепло и холод, потому что генерируется реакция (они улетают). Бактерии, скорее всего, не воспринимают тепло и холод, а вот их белки — очень даже. Таким образом, важно провести границу между восприятием и простым физиологическим откликом.

Есть и другие чувства, не входящие в «большую пятерку»: восприятие времени суток, магнитных и электрических полей, голода и изменений кровяного давления. Но снова нужно определить, действительно ли мы воспринимаем их на нейронном уровне или наши клетки просто физиологически реагируют на некоторые внешние изменения?

Рассмотрим, например, артериальное давление. Когда оно повышается, мы можем это почувствовать, а можем и не заметить. Однако сильное повышение давления провоцирует определенные реакции организма, которые наш мозг не распознает по внешним признакам. Более чем вероятно, что это реакция физиологическая, заранее запрограммированная и неконтролируемая. Другими словами, наше тело распознает изменение артериального давления и реагирует на него, но мы не всегда способны оценить этот отклик и часто не воспринимаем его так же, как воспринимаем свет, падающий на сетчатку глаза.

Итак, я буду рассматривать все вышеперечисленные ответные реакции как «неаристотелевские» чувства. Некоторые из них я исследую как часть эволюционных систем, возникших в ответ на изменения окружающей среды, но, говоря о восприятии, я буду придерживаться «большой пятерки» наряду с равновесием, болью и температурой.

Я не стал ориентироваться на традиционный подход и разбивать каждое из пяти чувств в отдельной главе. Вместо этого я описал шесть важных явлений, которые, по мнению исследователей, объясняют работу органов чувств. Во-первых, наши чувства появились в процессе эволюции, и можно очень многое узнать, если рассмотреть нейронную систему именно в этом контексте. Во-вторых, человеческие чувства ограничены, хотя мы воспринимаем довольно широкий спектр проявлений внешне-

го мира. Однако другие организмы иногда имеют сверхчувства, и на их примере прекрасно видно, как они работают и каковы пределы диапазона чувств у человека. В-третьих, представители нашего вида очень разнообразны — есть люди со сверхчувствами и с пониженной чувствительностью. Благодаря и тем и другим мы можем не только описать сами чувства, но и понять, как именно люди используют чувства для интерпретации окружающего мира. В-четвертых, травма может изменить чувства человека. Исследователи многое узнали о подобных аномалиях и особенно о том, как те связаны с функционированием мозга. Наши чувства вовлечены в начальные этапы интерпретации явлений и ситуаций, с которыми мы сталкиваемся. В-пятых, наши чувства взаимодействуют друг с другом, создавая согласованное восприятие внешнего мира. Экстремальным проявлением подобной кроссmodalности (переноса ощущений) является синестезия — феномен смешения чувств. Например, некоторые синестеты знают вкус каждого цвета и формы. Кроссmodalность отлично иллюстрирует, как работают наши чувства и восприятие. То, как мы воспринимаем музыку, искусство, еду и другие внешние стимулы, может помочь нам понять принципы работы органов чувств. Этот — шестой — подход к изучению работы органов чувств разъясняет, как наши чувства взаимодействуют между собой и как наш мозг выполняет функции высшего порядка, такие как чтение, музицирование или творчество. И именно то, как мы определяем или позиционируем себя в контексте внешнего мира, используя эти функции, — важный шаг к пониманию работы сознания.

Галлюцинации (аномальный аспект сознания) состоят из интенсивных, измененных и основанных на чувствах переживаний. Это измененное восприятие реальности дает нам новое понимание того, как работают наши чувства. Слуховые галлюцинации особенно увлекательны и часто используются при постановке диагноза психических заболеваний. Многого можно узнать, изучая их происхождение и проявления. Иногда галлюцинации создают проблемы при адаптации человека к жизни, но для многих худож-

ников и музыкантов слуховые галлюцинации были источником творчества. Очевидно, что в этот феномен вовлечены аспекты структурных изменений головного мозга. В дополнение к галлюцинациям своеобразным шлюзом к пониманию работы сознания можно считать важную в культурном отношении деятельность: музыку, искусство и чтение. Нет двоих людей, которые бы одинаково реагировали на какое-либо произведение изобразительного искусства, на вкус и текстуру пищи или определенную музыку. Роль чувств в подобной вариативности непреложна. Кроме того, новые исследования показывают, что кроссmodalность улучшает музыкальные способности, а быть может, и музыкальный вкус.

Существует и другая причина, по которой величайшие творения искусства, литературные и музыкальные произведения по-разному воздействуют на человека, и касается она контекста, в который мозг наблюдателя или слушателя помещает эти работы. У каждого человека есть свой набор воспоминаний и импульсов, полученный в результате жизненного опыта, который перерабатывается мозгом в определенный контекст. Можно многое понять о человеке, если разобраться, как в этом танце чувств сливаются воедино мозг и опыт. В 2016 году, например, опубликовано исследование, в котором ясно показано, какую важную роль играют эмоции, когда джазовый музыкант сочиняет музыку.

Какие же существуют ограничения? Я прихожу к выводу, что в будущем не будет пределов тому, что мы сможем почувствовать. Люди постоянно изобретают методы для расширения несколько узких диапазонов развитых чувств зрения, слуха, вкуса, обоняния и осязания. Фокусирование на чувствах дает нам возможность углубиться в наше восприятие себя как вида и показывает, как мы, сознательные существа, воспринимаем внешний мир природы. Наши чувства — окошко в наше восприятие реальности и в понимание, что сознание значит для нас. Все наши чувства начинаются с какого-то внешнего воздействия. Сигнал, производимый раздражителем, передается в мозг нервными импульсами, и в специфических областях мозга стимул интерпретируется таким образом, что мы воспринимаем что-то из внешнего мира.

Затем включаются воспоминания, и мы трактуем ощущения в контексте нашего существования, нашего прошлого, потребностей и желаний.

И напоследок хочу упомянуть о будущем наших чувств и о том, как может измениться сознание. В течение последних двух десятилетий наши зрительные, слуховые и тактильные чувства подвергались воздействию компьютерных технологий, которые оказывают огромное влияние на повседневные нейронные процессы. Разработки интерфейса «мозг-компьютер» привели к технологическому прорыву — появилась возможность восстановить слух и зрение тем людям, которые их потеряли или никогда не имели. Все эти современные достижения повлияли на то, как чувство реальности и сознания формулируется в нашем мозге. Я надеюсь, что вы получите удовольствие при чтении этой книги благодаря всем вашим чувствам!

БЕЗМОЗГЛОЕ БОЛЬШИНСТВО

Как чувствуют те, у кого нет мозга

У растений нет мозга, потому что они
никуда не идут.

РОБЕРТ СИЛЬВЕСТЕР,
профессор образования и философ

Человеческий мозг и чувства — это результаты эксперимента, который идет на нашей планете миллиарды лет. Чтобы выяснить, какие события имеют значение в этом эксперименте, и понять наши уникальные способности воспринимать окружающий мир, необходим эволюционный подход. И он требует, чтобы мы сосредоточились на нескольких важных результатах эволюции: биоразнообразии и исключениях. За 3,5 миллиарда лет эволюции на Земле возникло удивительное многообразие организмов, без которого мы не смогли бы исследовать многие нюансы наших собственных сенсорных способностей. Например, наша способность слышать звуки в определенном диапазоне всесторонне описана, но мы бы не знали, что наш слуховой диапазон биологически ограничен, если бы не изучили эхолокацию летучих мышей. Таким образом, исследование биоразнообразия позволяет нам шире взглянуть на собственные биологические характеристики, связанные с восприятием. Исключения же привлекают наше внимание к мельчайшим подробностям того, как обычно все работает в природе, а также позволяют нам задаться вопросом: почему они возникают? Примеры исключительного восприятия нам предоставляют и сама природа, и наблюдения за сенсорными преде-

лами человека. Многие исключения — это результат эволюции какого-то вида. Некоторые из сенсорных исключений помогают понять, как работает конкретное чувство и как могла развиться сенсорная реакция.

Одним из примеров полезности сенсорных исключений является распределение обонятельных генов у животных. Число функциональных обонятельных генов, обнаруженных у позвоночных на сегодняшний день, варьируется: у североамериканского красноносого анолиса, небольшой ящерицы, их менее двадцати, а у слона — более двух тысяч. Для сравнения: у человека примерно четыреста подобных генов. Если мы сопоставим число генов с тем, как чувствуют запах разные животные, мы можем многое узнать о нашем обонянии. Разнообразие организмов на нашей планете демонстрирует удивительные природные эксперименты и открывает колоссальные возможности в плане понимания чувств.

Все виды связаны между собой через общих предков, и это позволяет нам взглянуть на этапы эволюции наших уникальных сенсорных способностей. Древо жизни — прекрасный способ продемонстрировать как важность биоразнообразия, так и полезность общего происхождения. По этой причине на протяжении всей книги я буду использовать древо жизни как организующий принцип для наших органов чувств и мозга.

Человеческий мозг — это сложная структура, где обрабатываются чувства и происходит восприятие. В процессе эволюции мозг высших животных развивался, чтобы накапливать информацию из внешнего мира, обрабатывать данные и обеспечивать выживание. Большинство видов из почти двух миллионов, известных науке на сегодняшний день, имеют мозг (ученые проводят различие между числом неизученных и изученных существующих видов, потому что рассматривают вид, который не был определен и описан, как нечто бессмысленное в упорядоченном мире). Все это может привести к мысли, что мы живем в очень «мозговитом» мире, настроенном на знакомые нам чувства. Однако у подавляющего большинства обитателей этой планеты мозга нет,

и его отсутствие также весьма оправданно в вопросе выживания. Организмы без мозга все же могут довольно хорошо чувствовать и интерпретировать среду, в которой они живут. И выходит, что эти безмозглые организмы и есть то самое позабытое большинство, населяющее Землю.

Большая часть организмов — это неизвестные науке одноклеточные. Недавние исследования человеческого микробиома показали, что в среднем более десяти тысяч видов бактерий живет внутри и снаружи нашего тела, и многие из них безмянны и не включены в таксономическую систему. И это только тело человека! Если проанализировать океан или почву, легко убедиться: количество видов бактерий там зашкаливает. В 1980-х годах известный энтомолог Терри Эрвин предположил ошеломляющую возможность: на Земле может проживать в десять, а то и в сто раз больше видов организмов, чем известные на тот момент 1,5 миллиона. Впоследствии ученые начали открывать все новые и новые виды бактерий. В 2009 году микробиолог Роб Данн предположил, что существует по крайней мере сто миллионов видов микробов (журналисты назвали эту теорию «провокацией Данна»), а следовательно, на Земле проживает минимум двести миллионов видов организмов. Большая часть этих видов — микрорганизмы, а значит, мозг у них отсутствует. Вдобавок к этому стоит принять во внимание, что 99,9% всех организмов, когда-либо живших на планете, вымерло. Если учесть, что бактерии и одноклеточные организмы существовали еще за 2 миллиона лет до появления животных и растений, то примерное количество одноклеточных воистину поражает. Имеющие мозг организмы всегда были в крайнем меньшинстве, поэтому Земля — довольно «безмозглая» планета.

Так откуда же вся эта суета вокруг мозга? Для восприятия мозг не нужен. Галилео Галилей однажды написал: «Прежде чем зародилась жизнь, особенно высшие ее формы, все было невидимым и безмолвным, хотя солнце светило и рушились горы». Высказывание Галилея в ретроспективе означает, что до появления механизма восприятия света у бактерий такое понятие, как свет, от-

существовало в принципе, а следовательно, не было и самого света. Первые организмы, развившие в себе подобные клеточные механизмы, метафорически прокричали: «Да будет свет!» Вероятнее всего, те первые чувствительные организмы сфокусировались на каком-то одном внешнем природном раздражителе: на свете, на особом виде молекулы, плавающей вокруг, на гравитации или магнетизме.

Андрей Анишкин и его коллеги предполагают, что первобытное чувство возникло как возможный ответ липидной мембраны, окружающей клетку, на механическое воздействие. Другими словами, любая физическая сила, сместившая первичную мембрану, стала первым внешним раздражителем, который клетки научились чувствовать. Эксперименты показывают, что сила, воздействующая на внешнюю липидную мембрану клетки, может привести к конформационным изменениям молекул¹, встроенных в мембрану. Подобные изменения в конформации молекул действуют как переключатели встроенных клеток. Если молекулы сжаты или деформированы, они изменяют форму, что может включить или отключить другие реакции внутри клетки. Одной из наиболее распространенных сил внешней среды, воздействующих на клетку, выступает осмотическое давление, вызванное различными концентрациями соли внутри и снаружи клетки. Анишкин и его коллеги предполагают, что такая сила, как осмотическое давление, могла быть первым чувственным переживанием, с которым столкнулась замкнутая клеточная форма жизни. Это явление фактически все еще существует в современных клетках, что указывает на умеренный темп эволюции за 3,5 миллиарда лет с момента зарождения жизни на Земле. Когда структура или процесс в ходе эволюции оказываются адаптивными, они сохраняются у потомков в резуль-

¹ Конформация молекулы — пространственное расположение атомов в молекуле определенной конфигурации, обусловленное поворотом вокруг одной или нескольких одинарных сигма-связей. Конформационные изменения молекул белков рецепторов синаптических мембран и внесинаптических рецепторов давно рассматриваются как физическая основа памяти в ЦНС.

тате естественного отбора. Но другая интересная возможность заключается в том, что неродственные организмы опять и опять заново открывают аналогичные процессы или структуры в эволюционной истории. Такой вид эволюции называется аналогией или конвергенцией, и примеров ему предостаточно. Скажем, крылья, независимо возникшие у птиц, млекопитающих, насекомых и птерозавров, отлично иллюстрируют конвергенцию.

Так почему же именно мозг? Первичные одноклеточные организмы обладали чрезвычайно ограниченными способностями чувствовать, они сводились к восприятию единичных воздействий окружающей среды. Мозг развивался, чтобы обеспечить более точную интеграцию чувственных сигналов и тонкое восприятие информации из внешнего мира. Мозг делает наше окружение более понятным, обнаруживая и обрабатывая широкий спектр стимулов, постоянно бомбардирующих нас извне.

Мозг должен обработать мощный хаотичный информационный поток, накатывающий из окружающей среды, дротиками пронзающий организм и сталкивающийся с его органами чувств. Одну из форм этого хаоса легче всего представить в виде набегающих волн. Для лучшего понимания того, как наша нервная система воспринимает свет, можно сказать, что электромагнитное излучение (им по сути является свет) одновременно ведет себя и как волна, и как частица. Это значит, что свет обладает и теми и другими качествами. Одна из характеристик волны — ее длина. В следующий раз, когда будете на пляже, посмотрите, как на берег набегают волны. Длина волны — это расстояние от гребня одной волны до гребня следующей. Электромагнитное излучение с различными длинами волн (рис. 1.1) имеет разные характеристики и может варьироваться от 0,000000000001 метра (гамма-лучи) до более чем 10 000 метров (радиоволны). Люди различают свет только в очень узком диапазоне этого спектра — от 400 до 700 нанометров, или от 0,0000004 до 0,0000007 метра. Невидимый (для человеческого глаза) диапазон света за пределами конца спектра с короткими волнами (400 нм) называется ультрафиолетом, или ультрафиолетовым светом. Сразу за концом спектра с длинны-

1.1 | КАК И ПОЧЕМУ МЫ РАЗЛИЧАЕМ ЦВЕТА?

Когда свет падает на объект, он обрушивается на огромное количество молекул, из которых состоит этот объект. Поскольку свет и электромагнитное излучение также считаются частицами, ученые дали имя фундаментальной частице электромагнитного излучения — фотон. Когда фотон взаимодействует с чем-то, для него есть два варианта: он может быть поглощен или отражен. Поэтому, когда свет, состоящий из фотонов с разной длиной волн, сталкивается с объектом, происходит взаимодействие, которое можно разложить на миллионы и миллионы всякого рода аспектов. Некоторые молекулы будут отражать фотоны, другие — поглощать их. Отраженные фотоны попадают нам в глаза, и мы видим цвет предмета. Например, ткани растений содержат молекулы хлорофилла. Благодаря своей форме (напоминающей верхнюю часть молота Тора) и своему размеру они поглощают свет с длиной волн 430 и 662 нанометра. Эти две волны дают синий и красный цвет соответственно. Хлорофилл не поглощает свет с длиной волн в диапазоне от 430 до 662 нанометра, где находится зеленый цвет и видимая для нас часть цветового спектра. Если на объект, способный поглотить волны разной длины, направить широкий спектр света, то он поглотит их все. То есть не будет фотонов видимого спектра, которые отразятся от объекта, и он останется бесцветным. Цвета, которые мы можем различить, — это лишь результат отражения частиц света с разной длиной волн от предметов в направлении наших глаз.

ми волнами (700 нм) находится инфракрасное (тепловое) излучение, или инфракрасный свет. Между ними находятся цвета, которые можно различить глазом: фиолетовый, синий, зеленый, желтый, оранжевый и красный — в этом списке они расположены от меньшей длины волны к большей. Как и почему наше восприятие цвета застряло в этом узком диапазоне — это история об эволюции и адаптации. Чтобы понять это, нам нужно понять физику света и длины волны.

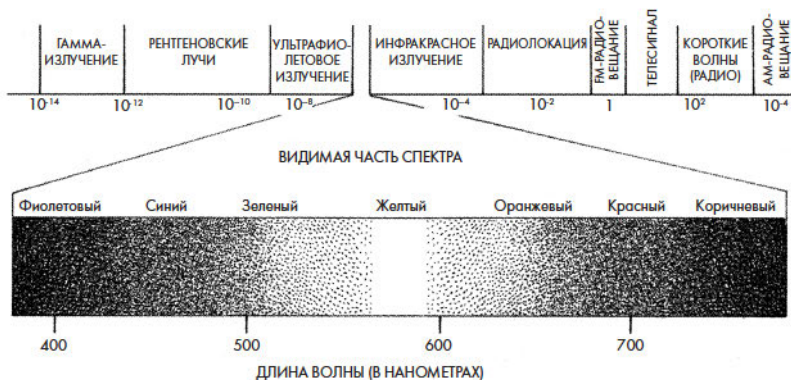


Рис. 1.1. Электромагнитный спектр (диапазон длин волн фотонов, воздействующих на нас в природе). Диапазон световых волн — более восемнадцати порядков. Видимая часть спектра представлена всего лишь небольшой полоской между 400 и 700 нанометрами

Мы не видим весь спектр света — скажем, в ультрафиолетовом и инфракрасном излучении, — потому что наши глаза в результате эволюции стали различать только узкий диапазон волн. Хотя для большинства организмов основной источник электромагнитного излучения — это Солнце, многие другие источники генерируют фотоны, которые и составляют световые волны. Рентгеновские лучи — пример света, созданного эмиссией (испусканием) электронов из атомов. Наши глаза не видят рентгеновские лучи, однако мы придумали отличный способ использовать фотографирование для их выявления.

Люди постоянно пытаются найти способ выйти за пределы своих естественных границ и расширить диапазон не только зрения, но и других чувств. Это важный и непрерывный процесс. Другие источники длины волны включают биолюминесценцию — форму света, которая в видимом спектре излучается живыми организмами, производящими, а не отражающими свет.

Другая составляющая хаоса — это молекулы в воздухе, а также в твердых телах, газах и жидкостях, с которыми мы контактируем. Эти молекулы состоят из атомов, которые самыми различными путями формируют сложные соединения и создают невероятное

количество маленьких объектов, плавающих в воздухе или в том, что мы глотаем. Некоторые из этих молекул совсем крошечные, но все они имеют отличительные формы и размеры и могут быть достоверно распознаны посредством механизма «ключ-к-замку», который реализуется белками клеточной мембраны. Части этих белков работают как замки, расположенные с внешней стороны клетки. Когда появляется небольшая молекула, которая подходит к замку как ключ, она образует комплекс с белками клеточной мембраны и меняет их форму. Это инициирует ряд реакций внутри клетки, и вызванная цепная реакция меняет ее состояние. То, что происходит в клетке, называется трансдукцией или передачей сигнала, и этот процесс лежит в основе работы нервной системы и реакции одноклеточных организмов на внешние раздражители. В этих маленьких молекулах, которыми наполнена наша среда обитания, заложена суть того, как мы и другие организмы воспринимаем вкусы и запахи.

Иногда перемещение воздуха вокруг нас (или воды, если мы плаваем) вызывает шквал ощущений. Вспомните, как заметно чувствуется движение воздуха, когда вы подносите руки к сушилке в общественном туалете. И невозможно забыть (кто угодно может это подтвердить) то чувство, когда мы ударяемся головой обо что-то твердое, например о притолоку подвала. А это значит, что, когда наша кожа вступает в контакт с газообразным, жидким или твердым объектом, у нас возникает механическая реакция. Организмы должны знать, где именно они находятся в пространстве, поэтому многие формы жизни разработали способы отслеживания своего положения, и все они связаны с чувством равновесия. Хаос воздействия внешней среды, который вызывает потребность в равновесии, возникает под действием силы тяжести и из-за движения организма. К другим переменным факторам относятся температура, магнитное и электростатическое поля.

Специализированные клетки организма обнаруживают сенсорную информацию в окружающей среде. Но как они это делают? Механизм одноклеточных организмов сильно отличается от механизма таких многоклеточных, как растения и высшие

1.2 | КАК УСТРОЕН ЗВУК?

Звук — это раздражитель, воздействующий на наши органы чувств посредством волн определенной длины, передающихся в воде, воздухе, гелиевой и других средах, и воспринимаемый как вибрация. Звуковые волны имеют тенденцию вытеснять воздух и частицы, летающие в нем. Разные источники звука испускают волны различной длины, что обеспечивает существование в природе широкого звукового диапазона. Как и в случае со светом, в процессе эволюции живущие на планете организмы научились различать узкий спектр звуковых волн. Звуковые волны расходятся циклически, переходя от одного пика волны к другому. Чем меньше количество циклов в единицу времени, тем ниже звук, а чем больше — тем звук выше. Единица частоты звука называется герц¹, и она измеряет количество циклов звуковой волны в секунду. Человеческое ухо различает довольно широкий диапазон звуков — от 20 до 20 000 Гц, а другие животные, обитающие на нашей планете, способны уловить и более низкие, и более высокие звуки.

животные. У высших животных мозг обрабатывает информацию, полученную от органов чувств.

Даже одноклеточные, которых мы называем бактериями и археями, чувствуют мир вокруг них. Это происходит потому, что среда постоянно контактирует со всем тем, что окружает эти крошечные организмы. Чтобы убедиться в наличии чувств у бактерий, можно посмотреть видео, как бактерия-хищник поедает свою жертву. Когда хищник начинает уничтожать добычу, поразительно, как быстро и избирательно он это делает. Это наглядная иллюстрация принципа: «Ты — мой вид, я тебя не трону... а ты — нет, тебя можно съесть». Еще больше удивляют видеоролики, где одноклеточные эукариоты преследуют и поедают дру-

¹ Любые колебания, не только звук. 1 Гц — один период в секунду. Период — длительность цикла в повторяющемся событии.