

*Дмитрий Гущин, Санкт-Петербург*

## ЧТО МЫ ВИДИМ, КОГДА СМОТРИМ НА РАДУГУ, И КАК МЫ СЛЫШИМ ЗВУК

- Слушай, почему в радуге семь цветов?
  - Потому что нот семь.
  - А апельсин почему оранжевый?
  - Так и должно быть, он же синий...
- (Из разговоров на физическом факультете)*

В прошлом году мне пришло письмо от одной московской учительницы, в котором она интересовалась, почему в радуге 7 цветов. Вопрос этот не так прост, как может показаться, и в свое время был сложен даже для Ньютона. Как известно, изначально он выделял 5 основных цветов спектра (красный, желтый, зеленый, синий и фиолетовый), к которым позже добавил оранжевый и индиго [1].

Представители разных народов в своих языках выделяют разное количество цветов радуги, которое, к тому же, меняется с течением времени. Например, в 1703 году киевляне указывали на 4 цвета радуги: «В радуге свойства суть червеное, и синее, и зеленое, и багряное» (*Колесов В. В. История русского языка в рассказах. — М., Просв., 1982*).

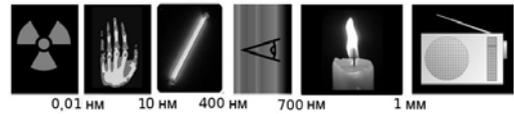
В естественных языках выделяют абсолютные и относительные цвета. Абсолютные цвета — черный, белый, красный и т. п., относительные — морковный, темно-красный. Число абсолютных цветов в языках разных народов мира редко бывает больше трех десятков, однако известны языки, где их количество очень мало: в одном из африканских племен 2 (темный и светлый), в языке майду североамериканских индейцев Северной Калифорнии — 3 (сине-зеленый, красный, желто-оранжево-коричневый), в Японии — 4 (белый, черный, красный, сине-зеленый), в Китае — 5 (белый, черный, красный, сине-зеленый, желтый). Кстати, в Европе фиксировали 3 «основных» цвета (сначала — красный, желтый, синий, а позже — красный, зеленый и синий), а со времен Ньютона часто говорят о 7 цветах. Но и в этом случае, цвета не обязательно одинаковые. В казахском языке, например, радуга семицветна, но цвета не те. Тот цвет, что переводится на русский язык как голубой в казахском восприятии смесь голубого с зеленым, желтый — смесь желтого с зеленым. Т. е. то, что считается смесью цветов у русских, считается самостоятельным цветом у казахов. Американский оранжевый — это отнюдь не наш оранжевый, а в нашем понимании скорее красный. (Кстати, в случае цвета прически, наоборот, red — это рыжий.)

Конечно, на самом деле в радуге представлены почти цвета (кроме, например, белого, черного и промежуточных серых), а основных цветов можно выделить столько, сколько захочется. Почему Ньютон остановился на семи? Скорее всего, потому, что Ньютону семерка казалась необычным числом. Чтобы мир представлялся более гармоничным, чтобы число цветов соответствовало числу основных тонов в гамме. Вообще, в зависимости от важности тех или иных цветов и оттенков в обыденной жизни народа, некоторые из них могут иметь большее или меньшее отражение в языке. В культурах, для которых жизненно важно контролировать и оценивать состояние выращиваемых растений, насчитываются множество слов для выражения оттенков зеленого, у северных народов — белого, у южных — желтого цвета.

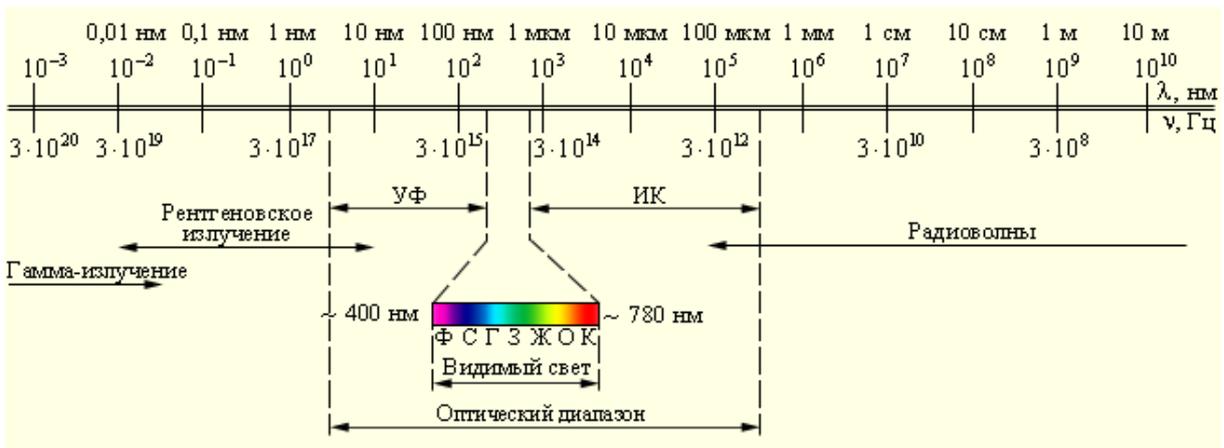
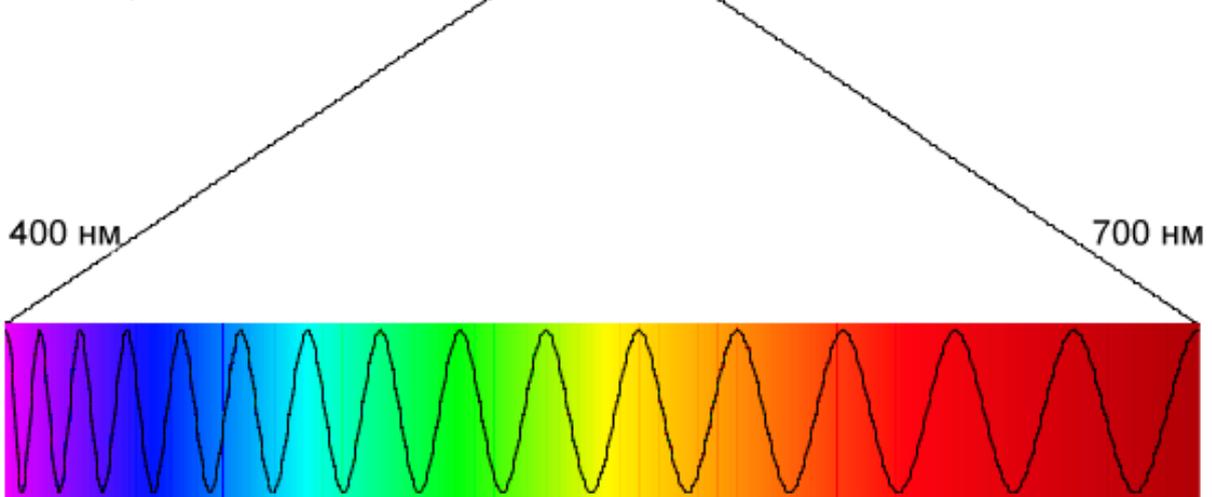
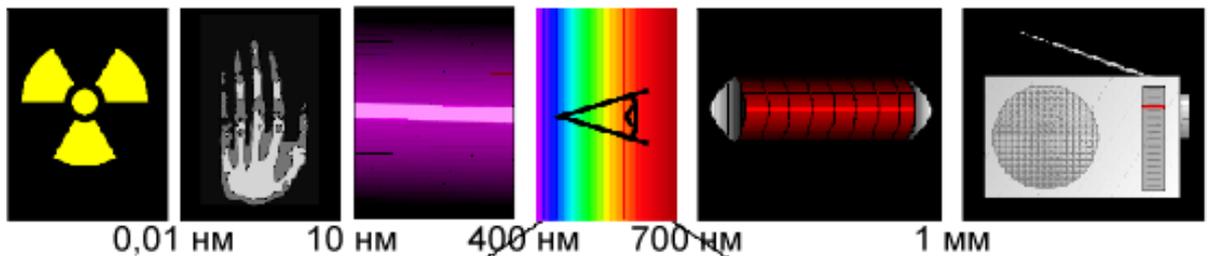
(Для полноты картины укажем, что существуют цвета, которых вообще нет в радуге. Например, пурпурный или коричневый. Эти цвета представляют собой смесь волн разной длины, и им не соответствует никакая часть радуги.)

А уж если совсем честно, то в природе цветов вообще не существует — иллюзию цвета создает только наше воображение. Длины волн видимого света (в диапазоне 380—740 нанометров) можно назвать любыми цветами — они об этом никогда не узнают. Но сначала подробнее о свете.

Свет — воспринимаемое человеческим глазом электромагнитное излучение. В более широком понимании в это понятие включают также невидимые человеческим глазом ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Соответствующие длины волн меняются от 10 нанометров до 0,2 миллиметра (см. рис.) [2]. Волны разных частот распространяются неодинаково. Например, человеческое тело непрозрачно для волн видимой части спектра, но не представляет преграды для рентгеновских лучей; инфракрасные лучи длиной более 1 мкм не могут пройти сквозь слой воды толщиной в несколько сантиметров, поэтому вода используется как теплозащитный фильтр.



| Цвет       | Диапазон длин волн, нм | Диапазон частот, ТГц |
|------------|------------------------|----------------------|
| Красный    | 625—740                | 480—405              |
| Оранжевый  | 590—625                | 510—480              |
| Жёлтый     | 565—590                | 530—510              |
| Зелёный    | 500—565                | 600—530              |
| Голубой    | 485—500                | 620—600              |
| Синий      | 440—485                | 680—620              |
| Фиолетовый | 380—440                | 790—680              |



Слова «электромагнитное излучение» значат очень многое, но для непосвященного читателя они не значат ничего. Краткая эволюция понимания природы света такова: в конце XVII века Исаак Ньютон предложил корпускулярную, а Христиан Гюйгенс — волновую теории света. Согласно корпускулярной теории, свет представлял собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами, а движение световых корпускул подчинялось законам механики. Например, отражение света понималось аналогично отражению упругого шарика от плоскости, а преломление света объяснялось изменением скорости корпускул при переходе из одной среды в другую. Волновая теория рассматривала свет как волновой процесс, подобный механическим волнам. В основу теории был положен принцип Гюйгенса, согласно которому каждая точка, до которой доходит волна, становится центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение волнового фронта в следующий момент времени.

Как оказалось впоследствии оба подхода удовлетворительно объясняли одни явления, но совершенно не подходили для других. В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет — это не механические, а электромагнитные волны. Электромагнитная теория света позволила объяснить многие явления, такие как интерференция, дифракция, поляризация, давление света. Но для понимания явлений излучения абсолютно черного тела, фотоэффекта, эффекта Комптона потребовалось введение квантовых представлений, и в 1905 Альберт Эйнштейн, применяя квантовую гипотезу Макса Планка к объяснению явления фотоэффекта, предложил считать, что электромагнитная волна состоит из отдельных порций — световых квантов, впоследствии названных фотонами.

Таким образом, свет мыслится нами вид материи (квантовое поле), не являющейся ни волнами, ни потоком частиц, но проявляющей их свойства в тех или иных условиях. Эта двойственность носит название корпускулярно-волнового дуализма света [3]. Для описания таких объектов возникла квантовая механика, в ней состояние частицы описывается волновой функцией.

Распространяясь, свет попадает, в частности, на сетчатку — внутреннюю оболочку глаза, содержащую светочувствительные рецепторы. Воспринимая электромагнитное излучение, фоторецепторы преобразуют его в электрические импульсы и передают в виде сигнала в головной мозг. В сетчатке человека находятся 110—125 млн. палочек, очень чувствительных к свету и обеспечивающих ночное зрение, и 6—7 млн. колбочек, отвечающих за восприятие цвета.

По чувствительности к разным длинам волн света различают три вида колбочек. Колбочки S-типа (short — короткий) наиболее чувствительны в фиолетово-синей, коротковолновой части спектра, M-типа (medium — средний) — в зелено-желтой и L-типа (long — длинный) — в желто-красной, длинноволновой части спектра. Наличие этих трех видов колбочек и палочек, чувствительных в изумрудно-зеленой части спектра, дает человеку цветное зрение. В этом состоит сформулированная в XIX веке (Томас Юнг, Герман Гельмгольц, Джеймс Клерк Максвелл) «трехкомпонентная теория цветового зрения» или «трихроматическая теория цветовосприятия».

Зоны чувствительности средневолновых и длинноволновых колбочек значительно перекрываются, поэтому колбочки определенного типа реагируют не только на свой цвет; они лишь реагируют на него интенсивнее других.

В ночное время, когда поток фотонов недостаточен для нормальной работы колбочек, зрение обеспечивают только палочки, поэтому ночью человек не может различать цвета. Чувствительность палочки достаточна, чтобы зарегистрировать попадание одного-единственного фотона, чувствительность колбочек в 100 раз меньше: необходимо попадание от нескольких десятков до нескольких сотен фотонов. Палочки воспринимают свет преимущественно в изумрудно-зеленой части спектра, поэтому в сумерках изумрудный цвет кажется ярче, чем все остальные.

Палочки реагируют на свет медленнее, чем колбочки — палочка реагирует на раздражитель в течение около ста миллисекунд. Это позволяет быть более чувствительной к меньшим количествам света, но снижает способность к восприятию быстротекущих изменений, таких как быстрая смена образов. При достижении необходимой для восприятия цвета яркости высокочувствительные рецепторы сумеречного зрения — палочки — автоматически отключаются. Палочки

преимущественно расположены по краям сетчатки и отвечают за периферийное зрение.

Колбочки гораздо лучше воспринимают быстрые движения. Светочувствительность колбочек невысока, поэтому для хорошего восприятия цвета необходима достаточная освещенность или яркость. Наиболее богаты цветовыми рецепторами центральные части сетчатки.

Теперь можно вернуться к понятию цвета. Цвет — качественная субъективная характеристика электромагнитного излучения видимого диапазона, определяемая на основании возникающего физиологического зрительного ощущения и зависящая от ряда физических, физиологических и психологических факторов. Восприятие цвета определяется также его спектральным составом, цветовым и яркостным контрастом с окружающими источниками света и несветящимися объектами. Понимание этого факта очень важно для дизайнеров: желтый цвет на красном фоне покажется зеленовато-желтым, а голубой — приобретет оттенок зеленого.

В человеческом сознании цвет обладает константностью — закрепленным представлением о цвете предмета как неотъемлемом признаке привычного объекта наблюдения. В частности, листва деревьев бессознательно признается зеленой даже при красноватом освещении на закате солнца. Для введения такой поправки в незнакомой ситуации служат поверхности с белой окраской: сопоставление с ними как с «эталоном», наряду с адаптацией глаза, позволяет бессознательно вводить поправку на освещение. Например, мы входим в темную комнату и видим черный шар на серой тряпке, понимаем, что серая тряпка на самом деле белая скатерть, и домысливаем, что черный шар — это красное яблоко. В случае отсутствия опыта наблюдений, цветовые ощущения и суждения человека о цвете предметов становятся неуверенными или ошибочными. Так, описания и попытки воспроизведения цвета «космических зорь» (восходы и закаты солнца на Земле, наблюдаемые с борта космического корабля), сделанные разными космонавтами, сильно отличаются одно от другого и от цвета этих «зорь», зафиксированных на фотографиях [4].

С годами цветовое видение мира меняется. Обусловлено это постепенным с течением жизни помутнением хрусталика, отчего цвета становятся более желтыми. Рассказывают историю про Илью Репина, которого в конце жизни попросили отреставрировать его же собственную картину, написанную многими годами раньше. Каково же было удивление реставраторов, когда они увидели, что художник не попадает в цвет — теперь он видел иначе.

Больше того, нет ровно никаких способов проверить, одинаковые ли цвета мы видим. И вправду, когда мы были маленькими, мы спрашивали взрослых, как называется тот или иной цвет. И приучились называть видимые нами цвета так, как нам сказали. При этом те цвета, на которые мы показывали, мы могли видеть совсем не так, как эти взрослые.

Для понимания цветовосприятия необходимо знать о таком свойстве нашего зрения как метамерия. Не все цвета радуги «независимы» друг от друга. Некоторые из них можно получать смешивая другие. Например, если на сетчатку глаза одновременно попадают красный и зеленый лучи, то мы увидим один луч, причем желтого цвета и глаз не заметит подмены.

(Опыт можно проделать при помощи двух проекторов, пересекая на белом экране лучи, пропущенные через те или иные цветные стеклышки.)

Это явление называется метамерией.

Метамерия — свойство зрения, при котором свет различного спектрального состава может вызывать ощущение одинакового цвета. Метамерия цвета увеличивается с уменьшением его насыщенности, т. е. чем менее насыщен цвет, тем большим числом комбинаций смесей излучений разного спектрального состава он может быть получен. Для белых цветов характерна наибольшая метамерия. Физиологически метамерия зрения основана на строении периферического отдела зрительного анализатора. Человеческое зрение является трехстимульным анализатором. Если сравниваемые потоки излучения с разным спектральным составом производят на колбочки одинаковое действие, то цвета воспринимаются как одинаковые.

Математическое описание цвета положило начало новой науке — колориметрии. В 1853 году Герман Грассман сформулировал три закона синтеза цвета: законы «трехмерности», «непрерывности» и «аддитивности». «Закон трехмерности» — любой цвет однозначно представляется в виде комбинации трех независимых цветов (независимость заключается в том, что нельзя получить никакой из указанных трех цветов сложением двух остальных). «Закон непрерывности» — при непрерывном изменении излучения цвет изменяется также непрерывно; поэтому к любому цвету можно подобрать бесконечно близкий. «Закон аддитивности» — цвет смеси излучений зависит только от их цветов, но не от спектрального состава; то есть цвет смеси, например, желтого и фиолетового цветов не зависит от того, смешением каких именно цветов были в свою очередь получены эти желтый и фиолетовый цвета.

Цветовое зрение свойственно многим видам животных. У позвоночных (обезьяны, многие виды рыб, земноводные), а из насекомых у пчел и шмелей цветовое зрение трихроматическое, как и у человека. У сусликов и многих видов насекомых цветовое зрение дихроматическое, т. е. основано на работе двух типов светоприемников, у птиц и рептилий — зрение четырехкомпонентно. Для насекомых видимая область спектра смещена в сторону коротковолновых излучений и включает ультрафиолетовый диапазон. Поэтому мир красок насекомого существенно отличается от нашего.

В животном мире известны четырех- и даже пятистимульные цветовые анализаторы, так что цвета, воспринимаемые человеком одинаковыми, животным могут казаться разными (так, хищные птицы видят следы грызунов на тропинках к норам исключительно благодаря ультрафиолетовой люминесценции компонентов их мочи).

Похожая ситуация складывается и с системами регистрации изображений, как цифровыми, так и аналоговыми. Хотя в большинстве своем они, как и зрение человека, являются трехстимульными (три слоя эмульсии фотопленки, три типа ячеек матрицы цифрового фотоаппарата или сканера), их метамерия отлична от метамерии человеческого зрения. Поэтому цвета, воспринимаемые глазом как одинаковые, на фотографии могут получаться разными.

Тем самым была обоснована возможность (с точностью до влияния условий освещенности и субъективности цветовосприятия индивидом) разработки способов количественного выражения цвета в виде набора трех чисел. В 1860 году Максвелл предложил в качестве тройки независимых цветов использовать красный, зеленый, синий. Соответствующая аддитивная система по первым буквам соответствующих английских слов называется RGB, и в настоящее время она доминирует в системах цветовоспроизведения для мониторов и телевизоров.

Однако наш глаз воспринимает не только испущенный, но и (в основном) отраженный свет. Вопрос о цвете отраженного света отличается от уже рассмотренного. Вспомним обычные акварельные краски на листе бумаги. Смесь красного и зеленого красителя не дает желтого цвета. Это же верно и в предельном случае: если смешать все цвета палитры, то получится не белый, а грязный. В чем же разница?

Для понимания цветовосприятия отраженного цвета мы должны отметить, что при попадании излучения на некоторую поверхность часть его может частично или полностью поглотиться, в то время как другая часть отражается. Совместное действие электромагнитных излучений во всей видимой части спектра вызывает ощущение белого света, а раздельное действие совокупности излучений, оставшихся после поглощения некоторых из них — окрашенного.

При этом мы видим попавшую в наш глаз отраженную, то есть не поглощенную часть спектра. Поэтому краситель, воспринимаемый нами как оранжевый, в действительности поглотил все лучи, кроме дающих ощущение оранжевого цвета. А это означает, что отразившая поверхность является в действительности зеленовато-синей. (И если бы нам удалось заставить поверхность апельсина светиться, то мы убедились бы в этом воочию.) В этом смысле любимые нами апельсины на самом деле цвета баклажанов, а баклажаны, наоборот, окрашены в веселые оранжевые тона (см. табл.).

| Длина волны поглощенного света, нм | Поглощаемый цвет | Наблюдаемый цвет  |
|------------------------------------|------------------|-------------------|
| 400—535                            | Фиолетовый       | Зеленовато-желтый |
| 435—480                            | Синий            | Желтый            |
| 480—490                            | Зеленовато-синий | Оранжевый         |
| 490—500                            | Сине-зеленый     | Красный           |
| 500—560                            | Зеленый          | Пурпурный         |
| 560—580                            | Желто-зеленый    | Фиолетовый        |
| 580—595                            | Желтый           | Синий             |
| 595—605                            | Оранжевый        | Зеленовато-синий  |
| 605—730                            | Красный          | Сине-зеленый      |
| 730—760                            | Пурпурный        | Зеленый           |

Для описания отраженного цвета в 1951 году Энди Мюллер предложил субтрактивную (вычитательную) модель СМΥК (от английских слов голубой, пурпурный, желтый, ключевой). Эта система обладает преимуществами в полиграфии, цветной фотографии и печати. Например, компьютер подает на монитор излучаемые цвета в системе RGB, а на принтеры — в системе СМΥК.

Понимание света как электромагнитной волны близко к пониманию звука как волны механической. Основное свойство всех волн, независимо от их природы, состоит в том, что в виде волны осуществляется перенос энергии без переноса вещества (последний может иметь место лишь как побочное явление). Например, после прохождения по поверхности жидкости волны, возникшей от брошенного в воду камня, частицы жидкости останутся приблизительно в том же положении, что и до прохождения волны.

Звук — это колебания упругой среды, распространяющиеся в виде волн в газообразной, жидкой или твердой средах. В узком смысле — это явление, субъективно воспринимаемое ухом человека и животных.

Человек слышит звук с частотой от 16 Гц до 20 000 Гц. Физическое понятие о звуке охватывает как слышимые, так и неслышимые звуки. Звук с частотой ниже 16 Гц называется инфразвуком, выше 20 000 Гц — ультразвуком. Высокочастотные упругие волны в диапазоне от  $10^9$  до  $10^{12}$ — $10^{13}$  Гц относят к гиперзвуку.

Область инфразвуковых частот снизу практически не ограничена — в природе встречаются инфразвуковые колебания с частотой в десятые и сотые доли герц. Частотный диапазон гиперзвуковых волн сверху ограничивается физическими факторами, характеризующими атомное и молекулярное строение среды: длина упругой волны должна быть значительно больше длины свободного пробега молекул в газах и больше межатомных расстояний в жидкостях и в твердых телах. Поэтому в воздухе не может распространяться гиперзвук с частотой  $10^9$  Гц и выше, а в твердых телах — с частотой более  $10^{12}$ — $10^{13}$  Гц. [5]

Основные параметры любых волн, в том числе и звуковых, — частота и амплитуда колебаний. Частоту звука измеряют в герцах (Гц — число колебаний в секунду). Человеческое ухо способно воспринимать звук примерно от 16 Гц до 20 кГц.

Амплитуду звуковых колебаний называют звуковым давлением или силой звука. Эта величина характеризует воспринимаемую громкость звука. Абсолютную величину звукового давления измеряют в единицах давления — Паскалях (Па). Самые слабые звуки, которые способно воспринять наше ухо, порог слышимости, имеют амплитуду 20 мкПа, самые сильные — в 10 миллионов раз большую — 200 Па.

Поскольку диапазон значений слишком широк, абсолютными величинами звукового давления пользоваться неудобно (попробуйте с приемлемой точностью изобразить на графике величины, различающиеся в миллионы раз). Поэтому на практике используют понятие уровня звука, измеряемого в децибелах (дБ) и характеризующее его относительную силу.

Уровень звука определяется по формуле  $L = 20 \lg(P_{зв} / P_{пс})$  (где  $P_{зв}$  — давление измеряемого звука, а  $P_{пс}$  — порог слышимости), то есть как десятичный логарифм отношения абсолютной величины звукового давления к величине порога слышимости; исходя из некоторых соображений, логарифм умножают на 20. При таком определении весь диапазон слышимых звуков укладывается в шкалу 0—140 дБ; разница в 1 децибел соответствует изменению громкости примерно на 10%, а меньшее отличие человеческое ухо уловить не способно.

Логарифмическая шкала, хотя и непривычная, очень близка к восприятию звука человеком. Например, незначительное изменение силы тихого звука дает ощущение заметного увеличения громкости, в то время как незначительное изменение громкости громкого звука останется почти незаметным. Это вполне отвечает математическому описанию относительной силы звука при помощи логарифмов.

#### Некоторые значения уровней звука [6]

|  |            |
|--|------------|
| Порог слышимости                       | 0 дБ       |
| Шорох листьев                          | 10—20 дБ   |
| Шепот на задней парте                  | 20—30 дБ   |
| Разговор в кабинете                    | 50—60 дБ   |
| Автомагистраль с интенсивным движением | 80—90 дБ   |
| Шум авиадвигателя                      | 120—130 дБ |
| Болевой порог                          | 140 дБ     |

Звуковая волна хорошо передается по земле, поэтому, когда мы хотим узнать, не едет ли где-то поблизости наша электричка, мы прикладываем ухо к рельсу. Звук может распространяться также по воде — вспомним о звуковых каналах в океанах. И, наконец, он может прийти к нам по воздуху. Что же именно и как к нам приходит?

За восприятие звука в человеческом организме отвечает специальный орган, называемый ухом. Снаружи расположено так называемое внешнее ухо, переходящее в слуховой проход примерно 0,6 см в диаметре и около 2,5 см в длину, заканчивающийся барабанной перепонкой, разделяющей внешнее и среднее ухо. К барабанной перепонке присоединена косточка, называемая молоточек. Вместе с двумя другими — наковальня и стремя — они передают вибрацию барабанной перепонки на следующую закрученную, как улитка, перепонку — внутреннее ухо. Это трубка с жидкостью диаметром около 0,2 мм длиной 3—4 см. Колебания воздуха слишком слабы, чтобы напрямую колебать жидкость, но среднее ухо вместе с барабанной перепонкой и перепонкой внутреннего уха составляют гидравлический усилитель: площадь барабанной перепонки во много раз больше перепонки внутреннего уха, поэтому давление усиливается в десятки раз.

Внутри улитки находится перепончатый канал, также заполненный жидкостью, на нижней стенке которого расположен рецепторный аппарат слухового анализатора, покрытый волосковыми клетками. Волосковые клетки улавливают колебания жидкости, заполняющей канал. Каждая волосковая клетка настроена на определенную звуковую частоту, причем клетки, настроенные на низкие частоты, располагаются в верхней части улитки, а высокие частоты улавливаются клетками нижней части улитки.

Таким образом, движения стремечка вызывают волнообразные колебания жидкости внутреннего уха, которые улавливаются волосковыми клетками, расположенными вдоль всей длины улитки, и преобразуются в электрические импульсы. Далее эти электрические импульсы передаются по слуховому нерву в головной мозг.

Слуховой нерв состоит из тысяч тончайших нервных волокон. Каждое волокно начинается от определенного участка улитки и передает определенную звуковую частоту. Низкочастотные звуки — например, шум машины или поезда, — передаются по волокнам, исходящим из верхушки улитки, а высокочастотные — например, щебет птиц, — по волокнам, связанным с ее основанием. Таким образом, различные звуки вызывают электрическое возбуждение различных волокон в составе слухового нерва. Именно эти различия способен воспринимать и интерпретировать мозг.

Помимо восприятия света, цвета и звука важными для развития человечества являются вопросы их фиксации. К сожалению, мы научились записывать звук много позже, чем сохранять изображения: Томас Алва Эдисон изобрел фонограф, с помощью которого на восковых цилиндрах металлической иглой записывалась и считывалась звуковая информация, только в 1877 году.

Устройство современных цифровых средств звукозаписи основано на важнейшем аспекте математического описания звука — теореме Котельникова — Найквиста — Шеннона, иначе называемой теоремой об отсчетах. Суть теоремы состоит в том, что для получения качественной записи звука цифровое устройство должно записывать звук как минимум вдвое чаще частоты этого звука.

Например, простейшие мобильные телефоны, диктофоны, автоответчики предназначены для передачи или записи голоса человека, спектр частот которого не более 3 кГц. Поэтому речь человека записывается автоответчиком в виде электрического сигнала 8—11 тысяч раз в секунду (иными словами, используется частота дискретизации 8—11 кГц). Другой пример: наибольшая частота звука, воспринимаемая человеком, составляет 20 кГц, поэтому для того, чтобы гарантированно качественно передать любой звуковой материал в стандарте Audio CD используют частоту дискретизации 44,1 кГц.

Еще одной важнейшей характеристикой звука является его спектр, получаемый в результате разложения звука на простые гармонические колебания (т. н. частотный анализ звука). Спектр бывает сплошной, когда энергия звуковых колебаний непрерывно распределена в более или менее широкой области частот, и линейчатый, когда имеется совокупность дискретных (прерывных) частотных составляющих. Звук со сплошным спектром воспринимается как шум, например шелест деревьев под ветром, звуки работающих механизмов. Линейчатым спектром с кратными частотами обладают музыкальные звуки; основная частота определяет при этом воспринимаемую на слух высоту звука, а набор гармонических составляющих — тембр звука.

Возможность звукозаписи позволяет человеку хранить, обрабатывать и передавать звуки нашего мира потомкам.

Понимая, как именно мы видим и слышим, осознавая, что наши разноцветные и многоголосые миры индивидуальны, а потому неповторимы, зная, что мир вокруг нас он только наш и ничей больше — ведь у других миры иначе раскрашены и по-другому звучат; слыша дождь и видя перед собой радугу, вспомним, что все это — лишь волны. И только мы сами наделяем их смыслом, красотой и звучанием.

Вы когда-нибудь пробовали поднести к уху ракушку? Помните?.. Так звучим мы.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] *A. A. Mills* Newton's Prisms and His Experiments on the Spectrum // Notes and Records of the Royal Society of London (1938-1996), Volume 36, Number 1 / 1981, p.25. Цит. по: <http://journals.royalsociety.org/content/g636j55673577j84>
- [2] [ru.wikipedia.org/wiki/свет](http://ru.wikipedia.org/wiki/свет)
- [3] <http://college.ru/physics/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph6/theory.html>
- [4] Большая Советская энциклопедия. Цвет.
- [5] Большая Советская энциклопедия. Звук.
- [6] Информатика № 13 (494), 1—15 июля 2005
- [7] <http://fregimus.livejournal.com/7540.html>
- [8] <http://absentis.livejournal.com/18723.html>
- [9] *Дмитрий Михайлов* Что и как мы слышим <http://websound.ru/articles/theory/ear.htm>