

СВЯЗИ ДЛИН ВОЛН ВИДИМОГО СВЕТА И СЛЫШИМОГО ЗВУКА

Оптический и акустический каналы являются основными источниками информации, с помощью которых человек получает сведения об окружающем его мире. Обычно, сравнивая эти два канала, обращают внимание на их отличия: разная разрешающая способность, информационная емкость и т.п. [1]. Однако сопоставление некоторых физических характеристик оптических и акустических волн дает неожиданные результаты. О них и пойдет речь ниже.

Оказывается, что в определенном диапазоне звуковых частот существует соответствие между произведением длины световой волны $\lambda_{\text{св}}$ на скорость света в вакууме c и произведением длины звуковой волны $\lambda_{\text{зв}}$ на скорость звука v , а именно:

$$c \cdot \lambda_{\text{св}} \approx v \cdot \lambda_{\text{зв}} \quad (1)$$

Соотношение (1) дает возможность сопоставить длины волн света и звука, воспринимаемые человеком. Перепишем (1) следующим образом: $f_{\text{зв}} \approx v^2/c \cdot \lambda_{\text{св}}$. Тогда, подставляя значения c и v ($3 \cdot 10^8$ и 331 м/с), получаем, что видимому диапазону света (0,4–0,8 мкм) соответствует диапазон слышимых звуков (456–913 Гц). Возникает естественный вопрос: Является ли соотношение (1) случайным? Попытаемся ответить на него, учитывая некоторые особенности восприятия звука и света человеком.

Напомним некоторые факты из области музыкальной акустики, в частности сведения о построении 12-ступенчатого звукоряда [2]. Ряд тонов, составляющих октаву, разделен интервалами. Интервал определяется как отношение (а не разность) частот соответствующих тонов. Отношение частот ближайших полутонов составляет величину 1,0595. Отношение частот тонов, соответствующих октаве, равно 2. Величины одноименных интервалов в различных октавах равны между собой. Диапазон используемых в музыке частот близок к

максимальному от 16 до 7900 Гц (9 октав, рояль). Реально воспроизводится диапазон 30–4000 Гц (речь: 40–3000 Гц).

Подставляя значения частот музыкальных тонов в выражение для $f_{\text{зв}}$, можно определить соответствующие им длины волн электромагнитного излучения. В результате получаем:

- видимый свет (400–800 нм) соответствует звуку второй половины первой октавы и первой половины второй октавы;
- каждой ноте в диапазоне 456–913 Гц с помощью формулы (1) можно сопоставить участок видимого спектра, соответствующий разложению белого света;
- акустическая октава, которая соответствуют видимому спектральному диапазону света, наиболее употребительна в музыке и речи. Отметим, что первая форманта (резонанс) голоса человека лежит в области 400–800 Гц (в этом интервале лежит и максимум мощности мужского голоса – 500 Гц [3]).

Удалось обнаружить следующий любопытный факт. Как известно, максимумы спектральной чувствительности цветковых рецепторов глаз – колбочек – приходятся на длины волн 420, 534, 564 нм, а черно-белых палочек – на длину волны 498 нм [4,5]. Соответствующие им по формуле (1) музыкальные тона оказываются разделенными интервалами, которые приблизительно совпадают с величинами музыкальных интервалов: 3, 4 и 5 полутонов. В музыкальной терминологии

это малая терция, большая терция, кварта – так называемые благозвучные интервалы.

Мы проанализировали ряд доступных работ, в частности многочисленные работы по цветомузыке, и не нашли публикаций, в которых соответствие между длинами волн света и звука определялось бы с помощью соотношения (1). Из приведенных выше оценок следует, что соотношение (1) не является простым численным совпадением, а отражает особенности восприятия и обработки информации органами зрения и слуха человека. В пользу такой интерпретации можно привести следующие соображения.

Длины звуковых волн, слышимых человеком, оптимальны для работы альтернативного (дополнительного к оптическому) акустического канала приема информации. Действительно, можно ввести понятие "значимые для человека объекты". Очевидно, что размер таких объектов может составлять от сантиметров до десятков метров. Эти размеры согласуются с диапазоном звуковых волн, слышимых человеком. Объяснение такому соответствию в том, что благодаря дифракции звук в этом диапазоне обтекает "значимые" непрозрачные объекты так, что дает возможность человеку "услышать" невидимое.

С другой стороны, существует предложенная Лейбницем звукоподражательная теория возникновения корневого первичного языка. Она связывает акустический образ, сопровождающий какое-либо природное явление (и его зрительное восприятие), с тем, как человек произносит звуки, соответствующие этому явлению. Возможно, древний человек находил в звуковых конструкциях, сопровождающих природные процессы, примеры для подражания и повторения. Но максимум спектральной плотности акустического излучения, вызванного природными явлениями, лежит в пределах от десятков герц до 3 килогерц [6], что как раз укладывается в речевой диапазон человека. Этот диапазон определяется строением звуковоспроизводящих органов человека, которые развивались в процессе его эволюции.

Можно предложить два других физических подхода к пониманию обсуждаемого соотношения (1).

1. Первый основан на понятии "зона Френеля". Площадь первой зоны Френеля равна величине λs , где s – расстояние от излучающего отверстия до области наблюдения. Так как $s=ct$, где t – время распространения излучения на расстояние s , то выражение для волнового параметра p примет вид: $p=\lambda ct/S$, где S – площадь излучающего отверстия. Рассмотрим произведение λcl , где l – интенсивность излучения, ее размерность – Вт/с. Тогда произведение λc в (1) можно трактовать, как величину, характеризующую скорость нарастания (убывания) мощности излучения, приходящего в зону наблюдения, при изменении площади первой зоны Френеля (варьирование параметрами λ или l).

Учитывая, что человек в основном реагирует на изменение интенсивности воздействующего фактора (в данном случае оптического или акустического излучения), такое объяснение представляется вполне правдоподобным.

2. В теории распространения электромагнитных пучков в параболическом приближении произведение $c \cdot \lambda_{\text{св}}$ – это коэффициент поперечной диффузии волнового фронта оптического пучка*. Расплывание волнового фронта в пространстве скрывает его мелкие искажения, которые также несут информацию об источнике излучения. То есть потеря оптической и акустической информации происходит со скоростью, определяемой равными друг другу произведениями $c \cdot \lambda_{\text{св}}$ и $v \cdot \lambda_{\text{зв}}$.

Хотя приведенные выше объяснения носят качественный характер, можно утверждать, что в результате наших исследований:

- найдено количественное соотношение, связывающее длины волн видимого света и слышимого звука, причем в это соотношение входят обычные физические параметры – скорости распространения света и звука.
- показано, что длины волн видимого света соответствуют, согласно (1), области, наиболее употребляемой человеком для акустического (вербального) общения;
- показано, что расположение максимумов спектральной чувствительности рецепторов глаз на шкале длин волн таково, что они соотносятся так, как соотносятся музыкальные консонансные интервалы (малая терция, большая терция, кварта). Это позволяет, в частности, более объективно обосновать воздействие цветомузыки на человека и построить законы ее синтеза.

Обнаруженное соответствие длин волн света и звука, по нашему мнению, может быть использовано в исследованиях высшей нервной деятельности человека.

Авторы благодарят своих коллег, принявших участие в обсуждении этой работы, за полезные замечания и конструктивную критику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грегуш П. Звуковидение. – М.: Мир, 1982. – 232с.
2. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика. – СПб.: Композитор, 2006. – 720с.
3. Дж.Л.Фланаган. Анализ и восприятие речи. – М.: Связь, 1968. – 195с.
4. Fundamentals of vision inferring the retinal anatomy and visual capacities of extinct. – http://palaeo-electronica.org/2000_1/retinal/vision.htm
5. <http://janatem.livejournal.com/25988.html>
6. Мир psy – реальные мифы и мифическая реальность: Браткин А.А. (01.08.06). – CJCity.ru

*На эту связь выражения (1) с коэффициентом диффузии волнового фронта обратил внимание С.Г.Раутиан.