РЕЛАКСАЦИОННАЯ ТЕОРИЯ СЛУХА

В общепринятой сейчас теории слуха орган Корти и основная мембрана, расположенные во внутреннем ухе, рассматриваются как система упругих резонаторов—нечто вроде рояля, роль струн которого исполняют поперечные волокна, раздражающие при своих колебаниях окончания слухового нерва.

В недавней работе[1] Я. И. Френкель указывает на неприемлемость этой теории с чисто физической точки зрения. Он считает, что упругие посто-

янные нервной и мышечной тканей слишком малы для того, чтобы обеспечить частоты собственных колебаний волокон, сравнимые со звуковыми. Это не позволяет говорить об обычном резонансе. Взамен автор предлагает новый механизм восприятия звука, основывающийся на „квазирезонансном" характере поглощения энергии системой, испытывающей пропорциональную скорости силу трения (такая сила трения возникает, например, при погружении системы в вязкую жидкость, вроде той, что наполняет внутреннее ухо). Как известно, такую систему можно характеризовать так называемым временем релаксации τ (это есть время, необходимое для возвращения системы в нормальное состояние после устранения внешних сил). Временная зависимость эффекта, производимого в такой системе внешней силой вида $\mathrm{Re}\{F_0 e^{i\omega t}\}$, даётся выражением

$$\mathrm{Re}\left\{AF_0 \frac{e^{i\omega t}}{1+i\omega\tau}\right\} \qquad (1)$$

(F_0 и A — вещественные константы). Соответственно, работа силы в единицу времени пропорциональна

$$(AF_0)^2 \frac{\omega\tau}{1+\omega^2\tau^2}.$$

Это выражение имеет максимум при $\omega = \frac{1}{\tau}$, т. е. поглощение энергии носит резонансный характер. Заметим, что упругими свойствами системы здесь полностью пренебрегается.

Автор считает, что биологическая ткань является именно такой системой. Это подтверждается, по его мнению, свойствами других органических веществ. Например, у резины $\tau \approx 10^{-7}$ *сек*, а собственная частота колебаний всего около $1/50$ *сек*$^{-1}$. Таким образом, предполагается, что поперечные волокна основной мембраны (автор пишет вместо них об окончаниях слухового нерва—это явная оговорка) отличаются не частотами собственных колебаний (которые все очень малы и могут быть приравнены нулю), а значениями времени релаксации (последние меняются в пределах, примерно, от $1/30$ *сек* до 10^{-4} *сек*). Возможно, замечает автор, что это связано с различной длиной нервных волокон. В силу указанных выше „квазирезонансных" свойств такой системы звуковые волны данной частоты поглощаются, в основном, только одной небольшой группой волокон. Автор замечает, далее, что в отличие от резонансной теории новый механизм даёт довольно широкие максимумы поглощения. При этом уменьшение эффекта с отклонением частоты от $1/\tau$ определяется отношением $\frac{|\omega-(1/\tau)|}{1/\tau}$, а не разностью $|\omega-\omega_0|$ (ω_0 — собственная частота волокна), как раньше. Следовательно, определённому тональному интервалу соответствует постоянное отношение $\frac{\Delta\omega}{\omega} = \Delta \ln \omega$ и, таким образом, с экспоненциальным изменением частоты возбуждающих колебаний равномерно изменяется воспринимаемый тон. Это—хорошо известный опытный факт (см. [2]).

Новая теория Я. И. Френкеля безусловно заслуживает внимания и дальнейшей разработки.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Я. И. Френкель, ДАН, новая серия № 4 (1943).
2. С. Н. Ржевкин, Слух и речь в свете современных исследований, 2-е изд., ОНТИ, 1936.

В. Авербах