خفاش حشره‌ای را می‌یابد

وقتی خفاش در پی حشرات (شکار خود) روی زمین راه می‌رود، معمولاً بیشتر با شنیدن صدای حشره به سوی آن می‌رود تا با دیدن آن، زیرا دید خفاش ضعیف است و معمولاً در شب به جستجوی غذا می‌پردازد. اما، برخی از انواع خفاش‌ها می‌توانند حشره‌ای چون شب‌پره را وقتی هر دو در پروازند، شناسایی و شکار کنند. گرچه خفاش سریع پرواز می‌کند، اما می‌تواند به حشره نزدیک شود و آن را بگیرد. چگونه خفاش نه تنها حضور حشره، بلکه جهت و سرعت پرواز آن را تشخیص می‌دهد؟

چرا خفاش‌ها در حوالی یک چراغ بخار جیوه (که معمولاً در خیابان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند) بهتر از یک محیط باز می‌توانند شب‌پره‌هایی در حال پرواز را شکار کنند؟ چرا اگر چراغ از جنس بخار سدیم باشد، این مزیت از بین می‌رود؟

وقتی غارهایی را در غرب تگزاس بررسی می‌کردم، یک آخر هفته را در زیرزمین گذراندم. در طول شب دوبار، هزاران خفاش از کنار من گذشتند. ابتدا وقتی از ورودی غار در جستجوی غذا بیرون رفتند، و سپس وقتی به لانه‌های خود در اعماق غار بازگشتند. در این مدت، حتی یک بار هم نشد که در آن تاریکی مطلق گذرگاه‌های پرپیچ و خم غار، خفاشی به من یا دیوار برخورد کنند. چگونه آن‌ها می‌توانند از چنین برخوردهایی اجتناب کنند؟

آموزشی

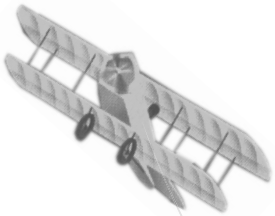
یرل‌واکر
ترجمه:
محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

پاسخ: خفاش فورانی از امواج صوتی را در بسامدهایی بسیار بالاتر از آنچه که شما قادر به شنیدن آن باشید، در ناحیه‌ای موسوم به ***فراصوت*** گسیل می‌دارد. این صدا که احتمالاً از سوراخ‌های بینی خفاش گسیل می‌شود، از اشیایی که در مسیر خفاش قرار دارند، مثل دیوارها، غارنوردان و حشرات در حال پرواز بازمی‌تابند. پژواک‌های ناشی از این اشیاء خفاش را آگاه می‌سازند که اشیایی بر سر راه قرار دارند. ولی، وقتی دسته‌ای خفاش در گذرگاه یک غار به‌صورت گروهی و با سرعت زیاد در پروازند، این روش مشکلی را به‌وجود می‌آورد: چگونه یک خفاش می‌تواند پژواک صدای خود را از پژواک صداهای خفاش‌های دیگر تمیز دهد؟ پاسخ این است که سیگنال هر خفاش با بسامدهای خاصّ آن، تغییر بسامدها و تغییرات دامنه‌ی آن، قابل تشخیص می‌شود. در هرحال، توانایی خفاش‌ها در تشخیص یک سیگنال از میان ده‌ها یا حتی صدها سیگنال دیگر، وقتی به سرعت به سمت یک دیوار در پروازند، فوق‌العاده است.

خفاش اطلاعاتی بیش از یک پژواک را دریافت می‌کند، زیرا به انتقال بسامد پژواک ناشی از حرکت خود حساس است. فرض کنید خفاش، در حالی‌که

نمایش

هیجان‌انگیز فیزیک (قسمت دهم)



به سمت دیواری پرواز می‌کند، صدایی را در بسامد معین گسیل کند. پژواکی که به سمت خفاش بازمی‌گردد بسامد بالاتری دارد و گفته می‌شود ***انتقال دوپلری*** پیدا کرده است. هرچه خفاش سریع‌تر به سمت دیوار حرکت کند، بسامد پژواک انتقال بیشتری می‌یابد. خفاش از انتقال دوپلر برای تعیین سرعت خود استفاده می‌کند.

برخی خفاش‌ها صدا را در بسامد ثابت گسیل می‌کنند و از انتقال دوپلر نه تنها برای تشخیص موانع، بلکه برای یافتن حشرات نیز استفاده می‌کنند. برخی خفاش‌ها، صدا را در گستره‌ای از بسامدها گسیل می‌کنند. خفاش می‌تواند با تحلیل انتقال دوپلر در بسامدهای مختلف، ویژگی‌های سطح هدف را تعیین کند و در نتیجه، مثلاً پژواک بازگشته از حشره را از پژواکی تمیز دهد که از برگ‌ها بازمی‌گردد. اگر حشره بال‌های خود را در سیگنال فراصوتی خفاش برهم زند، کار خفاش راحت‌تر می‌شود، زیرا تغییر جهت بال باعث تغییر در پژواک بازگشتی به خفاش می‌گردد (در بعضی وضعیت‌های بال، پژواک قوی است و در بعضی وضعیت‌های دیگر چنین نیست). این تغییر نشانه‌ی بارز آن است که پژواک مربوط به حشره‌ای در حال پرواز است.

بعضی خفاش‌ها ترجیح می‌دهند تا با پرواز در ارتفاع کم بر فراز سطح آب، به شکار (ماهی‌گیری) بپردازند، زیرا سطح تخت آب انباشتگی پژواک بسیار کمتری را به‌وجود می‌آورد تا خفاش‌ها آن‌ها را از هم جدا کنند. بیشتر سیگنال بازتابیده از آب از خفاش دورند، اما حشره صدا را مستقیماً به خفاش بازمی‌گرداند و بارز خواهد بود.

بعضی انواع حشرات به امواج فراصوتی مورد استفاده‌ی خفاش‌ها حساس هستند. وقتی یکی از این حشرات چنین بسامدی را دریافت می‌دارد، به‌ویژه اگر صدا بلند باشد، حشره بی‌درنگ شروع به پروازی نامنظم، و عموماً در مسیری می‌کند که شدت صوت را کاهش دهد. برخی از این حشرات، دفاع حتی بهتری می‌کنند. آن‌ها صدایی را گسیل می‌کنند که پژواک موردنیاز برای شناسایی آن‌ها توسط خفاش را عملاً مختل می‌کند. این صدا وقتی تولید می‌شود که پوست شاخی آن‌ها هنگام خم شدن دستخوش حرکات پیچ و تابداری می‌گردد. هر پیچ و تاب ناگهانی تغییری ناگهانی در فشار هوا به‌وجود می‌آورد، و این تغییر مکرر فشار، به صورت صدایی در گستره‌ی فراصوتی از حشره دور می‌شود. برای آن‌که این صداها باعث گیج کردن خفاش گردند، باید یا همزمان با پژواک بازگشتی از حشره و یا درست پیش از آن به خفاش برسند، تا خفاش دیگر نتواند پژواک را شناسایی کند.

سیگنال هر خفاش با بسامدهای خاص آن، تغییر بسامدها و تغییرات دامنه‌ی آن، قابل تشخیص می‌شوند.

در شب، چراغ بخار جیوه‌ی خیابان‌ها، شب‌پره‌ها و حشرات پرنده‌ی دیگر را به‌خود جذب می‌کنند؛ بنابراین، اگر خفاش در نزدیکی چنین چراغی پرواز کند، ممکن است مجموعه‌ی لذیذی را در آن‌جا بیابد. شگفت آن‌که، برخی از این حشرات که به هنگام دریافت امواج فراصوتی فرار می‌کردند و یا یک سیگنال پارازیتی گسیل می‌داشتند، در نزدیکی چراغ‌های بخار جیوه هیچ یک از این کارها را انجام نمی‌دهند. یک حدس این است که چون آن‌ها در طول روز از خفاش‌ها نمی‌ترسند (در روز خفاش‌ها بیشتر از آن‌که شکار کنند، می‌خوابند)، نور سفید و روشن چراغ آن‌ها را به این اشتباه می‌اندازد که در روشنایی روز هستند و در نتیجه در امان‌اند. چراغ بخار سدیم نور زردرنگ واضحی را گسیل می‌دارد که بی‌گمان شب‌پره‌ها آن را با روشنایی روز اشتباه نمی‌گیرند.

خفاش گلی را می‌یابد

چگونه خفاش‌هایی که از شهد گل تغذیه می‌کنند، گل‌ها را می‌یابند؟ گرده‌افشـــانی بسیاری از گل‌ها، به‌ویژه در مناطق استوایی، به این سرکشی خفاش‌ها بستگی دارد. نشستن خفاش بر روی گلی و فرو بردن نوکش در شکاف بین گلبرگ‌ها برای رسیدن به شهد و گل باعث می‌شود که دو گلبرگ دیگر گرده‌ها را روی دم خفاش بریزند و بدین‌ترتیب خفاش آن را به گل بعدی می‌برد. خفاش نه تنها باید بتواند محلّ گل را پیدا کند، بلکه باید محلّ شکاف را نیز برای خود بیابد. چگونه خفاش می‌تواند با قدرت بینایی ضعیف خود و در تاریکی، همه‌ی این کارها را انجام دهد؟ چگونه گل تا زمانی که منبع گرده‌های خود را دوباره پر نکرده است، مانع از نشستن خفاش دیگر می‌شود؟

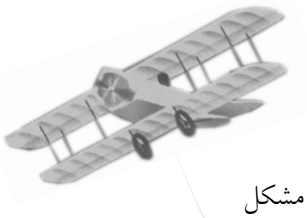
پاســخ: ظاهراً خفاش می‌تواند بـــا نوعی پژواک گل را شناسایی کند که به هنگام گسیل فورانی از امواج فراصوت به سمت گل دریافت می‌کند (بخش قبل را ببینید). در واقع، گلبرگ‌های بعضی از گل‌ها زنگوله‌ای‌ـ شـــکل‌اند تا بهتر بتوانند پژواک قابل تشـــخیص را به خفاش بازگردانند. به عنوان مثال، گلبرگ‌های گل *Mucuna holtonii* زنگوله‌ای را به‌وجود می‌آورند که حتی وقتی خفاش به‌طور مایل به گل نزدیک می‌شود، شدیداً پژواک را به خفاش باز می‌گردانند (این گل نوع اکوســـتیکی پس‌*تابنده‌های اپتیکی* است که دوندگان در شـــب می‌پوشـــند تا در نور چراغ‌های جلوی اتومبیل دیده شـــوند). وقتی گـــرده‌ای وجود دارد، گلبرگ بالای زنگوله بلند می‌شود. پس از آن‌که خفاش با گرده‌ای بر پشتش گل را ترک کند، گلبرگ بالا خم می‌شود و شکل زنگوله را خراب می‌کند. در نتیجه، خفاش دوم پژواکی قوی از گل دریافت نخواهد کرد. بعداً در شب، وقتی منبع گرده‌ها دوباره پر شـــود، گلبرگ بالا بلند می‌شود، شکل زنگوله را بازســـازی می‌کند و بدین‌ترتیب دوباره پژواکی بلند تولید می‌کند تا شاید خفاش دیگر روی آن بنشیند.

ظاهراً خفاش می‌تواند با نوعی پژواک گل را شناسایی کند که به هنگام گسیل فورانی از امواج فراصوت به سمت گل دریافت می‌کند

شنیدن در زیر آب

چرا وقتی سر شما زیر آب باشد به‌نظر می‌رسد صدای کسی که دور از شما و در سمت راست‌تان قرار دارد، از جهت مقابل گسیل شده است؟

پاسخ: یک سرنخ که مغز شما برای تعیین جهت چشمه‌ی صدا به‌کار می‌برد تأخیر زمانی بین رسیدن صدا به گوش نزدیک‌تر به چشمه و گوشی است که دورتر از چشمه قرار دارد. مثلاً، اگر چشمه‌ی صدا مستقیماً در طرف راست شما باشد، تأخیر زمانی ۰/۰۰۰۵۸ ثانیه است و تجربه‌ی قبلی به‌درستی به شما می‌گوید که چشمه در سمت راست و در زاویه‌ی 90° نســـبت به جهت مقابل قرار دارد. با این همه، اگر شما و چشـــمه در آب فرو روید، میزان تأخیر زمانی تنها یک‌ـچهارم تأخیر زمانی قبلی (۰/۰۰۰۱۴ ثانیه) خواهد بود، زیرا سرعت صوت در آب ۴ برابر سرعت صوت در هواست. (پس صدا سریع‌تر از گوش نزدیک تر به گوش دیگر حرکت می‌کند.) این تأخیر زمانی کوتاه‌تر و تجربه‌ی قبلی این علامت اشـــتباه را می‌دهد که چشمه در زاویه‌ی



فقط ۱۳° نسبت به جهت مقابل قرار دارد.

ولی شاید نتوانید این زاویه را به‌خوبی تعیین کنید، زیرا تأخیر زمانی از یک گوش به گوش دیگر، بر اثر یک اثر اضافی برهم می‌خورد. صدا در آب راحت‌تر به گوش شما منتقل می‌شود تا در هوا. بنابراین، وقتی سر شما زیر آب است، صدا نه تنها با عبور از آب، بلکه با عبور از سرتان به گوش دورتر می‌رسد. تأخیر زمانی برای این دو مسیر تا اندازه‌ای متفاوت است و این باعث می‌شود که سرنخ‌های متضادی در مورد جهت چشمه به شما برسد.

اثر کوکتل پارتی[1]

در یک مهمانی کوچک که افراد می‌ایستند و دو به دو با یکدیگر صحبت می‌کنند، هر یک از افراد در فاصله‌ای می‌ایستند که «از نظر اجتماعی پسندیده» است و این دو می‌توانند بی هیچ مشکلی صدای یکدیگر را بشنوند. اما، چرا وقتی تعداد افراد داخل اتاق افزایش می‌یابد، شنیدن دشوارتر می‌شود؟ و افراد چه واکنشی از خود نشان می‌دهند؟ چرا هنوز می‌توان یک صدا را تشخیص داد؟ ممکن است شما در بسیاری از محیط‌های پر سرو صدای دیگری از قبیل یک رستوران شلوغ یا در مترو متوجه اثرهای مشابهی شده باشید؟

پاسخ: وقتی تعداد افراد افزایش می‌یابد، سرو صدای زمینه‌ی گفت‌وگوی دیگران (صداهایی که مستقیماً از گفت‌وگوها به گوش شما می‌رسد، به علاوه‌ی صداهایی که از دیوارها و سقف و هم‌چنین افراد دیگر بازمی‌تابند) نیز افزایش می‌یابد. وقتی سرو صدای زمینه به اندازه‌ی صدای گفت‌وگوی شما بلند شود، شما و طرف مقابلتان خود به خود صدایتان را بلند می‌کنید، اثری که به افتخار ***اتین لومبار***[2] که این پدیده را در سال ۱۹۱۱ بررسی کرده، *اثر لومبار* خوانده می‌شود. چون جفت نفرات دیگر نیز در شنیدن صدای طرف مقابل خود با مشکل مشابهی مواجه‌اند، آن‌ها نیز صدای خود را بلند می‌کنند و در نتیجه شما هم‌چنان در شنیدن صدای طرف مقابل خود، مشکل دارید. در مرحله‌ای، برای آن‌که فریاد نزنید، شما و طرف مقابل‌تان از وضعیت طبیعی به یک‌دیگر نزدیک‌تر می‌شوید (وارد «فضای خصوصی» هم می‌شوید.) اگر کسی، مثلاً برای اعلان یک خبر، مهمانان را ساکت کند، و سپس گفت‌وگو از سرگرفته شود، تراز صداها سریعاً (به صورت نمایی با زمان) به مقادیر قبلی خود باز می‌گردند. اثر لومبار در بعضی حیوانات، مانند پرندگانی که هنگام مواجه شدن با افزایش سرو صداهای زمینه‌ی پرندگان دیگر، تراز صدای خود را افزایش می‌دهند، بررسی شده است.

اگر شخصی با استفاده از یک میکروفون گفت‌وگوی شما و طرف مقابل‌تان را ضبط و سپس آن را (در اتاقی ساکت) برای شما پخش کند، احتمالاً نمی‌توانید صحبت‌های طرف مقابل خود را به خوبی وقتی آن را به طور «زنده» شنیدید تمیز دهید. این تفاوت ناشی از آن است که شما، شخصاً، با دو گوش صدای طرف مقابلتان را می‌شنوید ـ تأخیر جزئی بین آن‌چه می‌شنوید و اختلاف جزئی در شدت صدا در دو گوش به شما کمک می‌کند تا صدای طرف مقابل خود را در هجوم صداهای دیگر باز شناسید. این اثر را ***اثر کوکتل پارتی*** می‌نامند. توانایی مشاهده‌ی حرکت‌های دهان و «زبان بدن» نیز به شما کمک می‌کند تا جای کلمات یا حتی جملاتی را که به وضوح نمی‌شنوید، پر کنید. اگر به یک گفت‌وگوی ضبط شده گوش کنید، هیچ یک از این نشانه‌ها موجود نیست. بنابراین، شما باید از سرنخ‌های دیگر، از قبیل جست‌وجوی افکار هوشمندانه‌ی طرف مقابل و یا صداهای قابل تشخیص استفاده کنید که در سر و صدای زمینه نهفته‌اند. گاهی بیرون کشیدن گفت‌وگو از این سرو صدای زمینه بسیار ساده است، مانند وقتی که شما می‌توانید به راحتی صدای یکی از حاضرین را بشنوید که هنگام ضبط قاچاقی یک کنسرت در نزدیک دستگاه ضبط نشسته است. بعضی حیوانات نیز از توانایی تشخیص صداهای آشنا در زمینه‌ای پر سرو صدا، استفاده می‌کنند، مانند بچه شاه‌پنگوئنی که در هیاهوی ناشی از صدای هزاران شاه‌پنگوئن دیگر، صدای پدر و مادر خود را می‌شنود.

وقتی یک سیگنال صوتی بر اثر نوسان‌های غشاء پایه به درون اندام کورتی منتقل شود، میله‌های مویین در این اندام، شروع به نوسان می‌کنند، که باعث می‌شود ضربه‌های الکتریکی به‌عنوان اطلاعاتی در مورد صوت به مغز فرستاده شوند

صدای گسیل شده از گوش‌ها

حدود ۶۰ درصد مردم از گوش‌های خود امواج صوتی گسیل می‌کنند، اثری که به گسیل‌های اکوستیکی گوش[۳] (OAE) معروف است.برای شنیدن اکثر این امواج گسیل شده به یک میکروفون و تقویت شدن نیاز داریم، اما اگر در اتاقی نسبتاً ساکت نزدیک شخصی بایستید، می‌توانید برخی از امواج صوتی گسیل شده را بشنوید. چرا گوش‌ها صدا گسیل می‌دارند؟

پاسخ: وقتی صدایی پرده‌ی گوش را تحریک می‌کند، نوسان‌ها به درون گوش داخلی (حلزون گوش) منتقل می‌شوند که از دو محفظه‌ی نبستاً بلند حاوی شاره تشکیل شده است که توسط ***غشاء پایه*** از یکدیگر جدا شده‌اند. عضوی که صدا را حس می‌کند، ***اندام کورتی***[۴] است که روی این غشاء قرار دارد. وقتی یک سیگنال صوتی بر اثر نوسان‌های غشاء پایه به درون اندام کورتی منتقل شود، میله‌های مویین در این اندام، شروع به نوسان می‌کنند، که باعث می‌شود ضربه‌های (امپالس) الکتریکی به عنوان اطلاعاتی در مورد صوت به مغز فرستاده شوند. این آشکارسازی بسیار به بسامد حساس است ـ صدایی با یک بسامد خاص میله‌های مویین را در ناحیه‌ای خاص تحریک می‌کند. این گزینش ناشی از دستگاه کنترل کننده‌ای است که بخشی از سیگنال را به ناحیه‌ی آشکارسازی برمی‌گرداند. این بازخورد انرژی می‌تواند غشاء پایه را بدون محرک خارجی به نوسان درآورد و نوسان‌ها را به پرده‌ی گوش بازگرداند، که سپس امواج صوتی را تولید می‌کند که از مجرای گوش به بیرون حرکت می‌کنند. این امواج صوتی در بیش‌تر موارد بسیار ناچیز است، اما اگر کسی بگوید که گوش‌هایش صدا می‌کنند، شاید واقعاً بتوانید صدای آن وزوز را بشنوید.

بعضی حیوانات از توانایی تشخیص صداهای آشنا در زمینه‌ای پر سرو صدا، استفاده می‌کنند، مانند بچه شاه پنگوئنی که در هیاهوی ناشی از صدای هزاران شاه پنگوئن دیگر، صدای پدر و مادر خود را می‌شنود

موسیقی در سرتان

موسیقی‌های هیوی راک۵ کلاسیک، مثل آهنگ‌های گروه‌های *پروانه‌ی آهنی*[۶] یا *لد زپلین*[۷]، صداهای بم سنگینی دارند. اما، بلندگوهای کوچک، مثل بلندگوهای درون اتومبیل، نمی‌توانند نُت‌های بم تولید کنند ـ این امواج صوتی به طول موج‌های بلندی نیاز دارند، که نمی‌توان آن‌ها را روی یک بلندگوی مخروطی‌شکل با قطر و عمق کم تولید کرد. با این همه، اصوات موسیقیایی روی این بلندگوهای کوچک، پذیرفتنی است. اما، چگونه شما می‌توانید صداهای بم را بشنوید؟

پاسخ: صداهای کم بسامد به دلیل دو اثر در سر شما تولید می‌شوند. یکی از آن‌ها که به دریافت شما از سری هماهنگ مربوط می‌شود، به ***اثر بنیادی گمشده***[۸] معروف است. این سری، شامل پایین‌ترین بسامد (بسامد پایه) و بسامدهای بالاتر (نت‌های فرعی) است که مضرب‌های صحیحی از کم‌ترین بسامد هستند مثلاً، اگر بسامد پایه ۵۰۰ هرتز باشد، این سری از هرتز ۱۰۰=(۵۰۰)۲، هرتز ۱۵۰۰=(۵۰۰)۳، هرتز ۲۰۰=(۵۰۰)۴ و الی آخر تشکیل می‌شود. فرض کنید بلندگوهای اتومبیل بتوانند هر بسامد بالای ۸۰۰ هرتز را بازتولید کنند اما قادر به بازتولید بسامدهای پایین‌تر نباشند. اگر این سری هماهنگ به بلندگو فرستاده شود، بسامد پایه‌ی ۵۰۰ هرتز نمی‌تواند بازتولید شود، اما هماهنگ‌های بالاتر می‌توانند بازتولید شوند. ولی، به رغم این که بسامد پایه به گوش شما نمی‌رسد، سیستم عصبی‌ای که مسئول دریافت این هماهنگ‌های بالاتر و تشخیص آن‌ها به عنوان بخشی از یک سری هماهنگ است، برداشتی از بسامد را به وجود می‌آورد. بنابراین، وقتی از بلندگوهای اتومبیل به موسیقی هیوی راک گوش می‌کنید، بسامدهای هماهنگ بالاتر در یک نُت برای این‌که دستگاه عصبی شما بسامد پایه‌ی نُت را تشخیص دهد، کافی هستند. این‌که دقیقاً چرا دستگاه‌های عصبی چنین رفتار می‌کنند، مشخص نیست.

اثر دیگری که باعث دریافت یک صدای بم می‌شود **غیرخطی بودن** سازوکار شنیداری گوش است. یعنی، به تغییرات هر موج صوتی‌ای که وارد گوش می‌شود پاسخی واپیچیده می‌دهد. احتمالاً این سازوکار از آن‌رو غیرخطی است که به ترازهای صوتی (بلندی صدا) در گستره‌ای بسیار وسیع پاسخ دهد و نیز بتواند صداها را بر طبق بسامد آن‌ها دسته‌بندی کند. یک پیامد فرعی این پاسخ واپیچیده هنگامی رخ می‌دهد که گوش با دو بسامد سروکار دارد ـ مثلاً هرتز f_1=۱۰۰ و هرتز f_2=۱۵۰۰. اگر امواج صوتی نسبتاً بلند باشند، سرانجام موجی با بسامدی برابر با اختلاف این بسامد (هرتز f_2-f_1=۵۰۰) در گوش داخلی تولید می‌شود. چون این دو بسامد، بسامدهایی متوالی در سری هماهنگ بالا هستند، این اختلاف معادل با بسامد پایه است. بنابراین، به رغم این‌که بسامد پایه وارد گوش نمی‌شود، بر اثر پاسخ غیرخطی گوش، در گوش درونی تولید می‌گردد.

شما می‌توانید ***تفاضل تُن*** f_2-f_1 را در وضعیت‌های دیگری که دو چشمه‌ی صوتی بسامدهای نسبتاً زیادی را با ***صدای بلند*** گسیل می‌دارند نیز بشنوید. آن‌ها باید بلند باشند تا باعث شوند گوش درونی شما پاسخی واپیچیده تولید کند. مثلاً، اگر فلوتی بسامد f_1 را گسیل کند در حالی که فلوت دیگر بسامد f_2 را گسیل می‌دارد، می‌توانید صدای یک «***شبح فلوت***» با بسامد f_2-f_1 را بشنوید.

همچنین با دمیدن محکم در سوت دو سوراخه‌ی پلیس‌های بریتانیایی می‌توان این اختلاف تن را شنید. با گرفتن سوراخ نزدیک‌تر با انگشت می‌توانید بسامد ناشی از باز بودن سوراخ دورتر را بشنوید. با گرفتن سوراخ دورتر می‌توانید بسامد ناشی از باز بودن سوراخ نزدیک‌تر را بشنوید. با باز گذاشتن هر دو سوراخ، آن دو بسامد مجزا و نیز بسامد سومی را خواهید شنید که برای تفاضل آن دو بسامد است.

از این تفاضل تن در لوله‌های اُرگ نیز استفاده می‌شود: لوله‌ای که Cی پایین را در بسامد ۱۶ هرتز تولید می‌کند، به طولی برابر با ۱۰ متر نیاز دارد، که بسیار بلند، سنگین و گران‌قیمت است. ولی، اگر دو لوله که یکی یک C را در بسامد ۳۲ هرتز و دیگری یک G را در بسامد ۴۸ هرتز تولید می‌کند، همزمان نواخته شوند، یک Cی پایین را در بسامد ۱۶ هرتز به عنوان یک واپیچش در گوش درونی تولید می‌کنند. بنابراین، دو لوله‌ی کوتاه‌تر و ارزان‌تر، موسیقی‌ای اضافی را در سر شما تولید می‌کنند.

یک وسیله‌ی کوچک در گوش‌بندها و گوشی‌های فعال صدای محیط را وارسی و صدایی مربوط به خود را تولید می‌کند. اگر صدای محیط نسبتاً یکنواخت باشد، این وسیله‌ی کوچک یک موج صوتی با همان دامنه و بسامد را تولید می‌کند

صدای تقویت شده بر اثر نوفه

معمولاً نوفه می‌خواهد یک سیگنال را بپوشاند (مخفی کند)، همان‌طور که در یک مهمانی شلوغ، صدای یکی از دوستانتان را می‌پوشاند. (نسبت سیگنال به نوفه کمتر از ۱/۰ است، یعنی سیگنال در همهمه‌ی مهمانی گم می‌شود.) اما، در بعضی موارد، نوفه می‌تواند در واقع رسایی یک سیگنال را افزایش دهد. مثلاً، اگر در هنگام شنیدن موسیقی به تدریج صدا را کم کنید، سرانجام صدا چنان ضعیف خواهد شد که نمی‌توانید آن را بشنوید. اگر چشمه‌ی نوفه‌ای را روشن کنید که صدای نسبتاً یکنواختی (مثل صدای وزوز) تولید می‌کند و تراز صدای این چشمه را تنظیم کنید، شاید دریابید که دوباره می‌توانید آن موسیقی را بشنوید. چگونه نوفه می‌تواند موسیقی غیرقابل شنیدن را قابل شنیدن کند؟

پاسخ: موسیقی از صداهایی با ترازهای صوتی مختلف تشکیل شده است، اما اگر صدا را به قدری کم کنید که غیرقابل شنیدن گردد، نمی‌توانید حتی بلندترین صداها را نیز بشنوید. حال اگر نوفه زمینه‌ی نسبتاً یکنواختی را روشن کنید، تراز صوتی این نوفه به تراز صوتی موسیقی افزوده می‌شود. در قسمت‌های بلندتر موسیقی، این نوفه افزوده شده آن بخش‌ها را تا گستره‌ای قابل شنیدن تقویت می‌کند. اکنون، می‌توانید کم‌کم ضرب‌آهنگ موسیقی و شاید حتی برخی جزئیات آن را تشخیص دهید. قطعاً موسیقی‌ای که می‌شنوید کیفیت بالایی ندارد، زیرا بخش‌های با صدای کم را از دست می‌دهید. اما، آن‌قدر می‌شنوید که بتوانید موسیقی را تشخیص دهید.

گوشی‌های طبی متداول دو نوع‌اند: یک دیافراگم فلزی و یا یک زنگوله‌ی پلاستیکی روی سینه‌ی بیمار فشرده می‌شود. صداهای سینه باعث می‌شود تا دیافراگم یا هوای درون زنگوله به نوسان درآیند، که این خود باعث می‌شود تا هوا در لوله‌های گوشی نوسان کند و بدین ترتیب پزشک بتواند نوسان‌ها را بشنود

ناشنوایی ناشی از سروصدا

وقتی موسیقی *راک اَند رول*[9] رایج شد، والدین بی‌شماری فرزندان نوجوان خود را سرزنش می‌کردند که این موسیقی به شنوایی آن‌ها آسیب می‌رساند. مطالعات اولیه نشان داد که این پیش‌بینی درست نبوده است. اما وقتی موسیقی راک تحول یافت و به‌ویژه وقتی صدای آن در کنسرت‌ها و کلوپ‌های شبانه (و سپس در گوشی‌ها) بسیار تقویت شد، آسیب‌های شنوایی ظاهر شدند. در واقع، پس از سال‌ها قرار گرفتن در معرض موسیقی با صدای بلند، خواه در طول اجرای روی صحنه و خواه با شنیدن اجرای خود در گوشی‌های استودیو، بعضی از خوانندگان راک کهنه‌کار با مشکلات شدیدی مواجه شدند. مثلاً، *تد ناگنت*[10] همه‌ی شنوایی یک گوش خود را از دست داد و *پیتر تاونشند*[11] (از گروه **who**) و *لارس اولریش*[12] (از گروه متالیکا) دچار یک زنگ دائمی (وزوز) در گوش خود شدند و این صدا چنان شدید بود که در تمرکز و خواب آن‌ها اختلال ایجاد می‌کرد.

بسیاری از کسانی که در کنسرت‌ها و کلوپ‌های شبانه‌ی پر سروصدا کار می‌کنند، پس از ترک کار خود، دچار ناشنوایی دائم و یا وزوز گوش می‌شوند. آسیب‌های ناشی از گوش‌های دستگاه‌های پخش قابل حمل (پُرتابل) نیز کم‌کم در افرادی که از آن‌ها استفاده می‌کنند ظاهر شده است. البته، خیلی منابع دیگر صداهای بلند یا تند نیز هستند که می‌توانند به ناشنوایی بیانجامند ـ که از آن جمله‌اند پمپ‌های باد، چمن‌زن‌های برقی، آتش بازی در فاصله‌ی نزدیک، صدای شلیک تفنگ‌های ساچمه‌ای، چکش‌های بادی، موتورهای جت، موتورسیکلت‌ها و اتومبیل‌های مسابقه. امروزه بسیاری از مردم احتیاط می‌کنند. برخی گوشی‌های غیرفعال[13] (استوانه‌های اسفنجی) به گوش می‌زنند که سوراخ گوش را می‌گیرند. برخی دیگر گوش‌بندها و گوشی‌های فعال[14] (کاهش‌دهنده‌ی سروصدا) به گوش می‌زنند که سروصدای زمینه‌ی مداوم (مثل سر و صدای موتور هواپیما) را وارسی و سپس آن را حذف می‌کنند تا شنیده نشوند.

چرا صداهای بلند مشکلات شنیداری گوناگونی را به وجود می‌آورند؟ چگونه گوش‌بندها و گوش‌های کاهش‌دهنده‌ی صدا، سروصدا را حذف می‌کنند؟

پاسخ: جزئیات ناشنوایی موقت یا دائم ناشی از سروصدای بلند هنوز شناخته شده نیست. ناشنوایی موقت ممکن است ناشی از کاهش ورود خون به گوش درونی، به دلیل انقباض رگ‌های خونی باشد. ناشنوایی دائم ممکن است ناشی از خم‌شدن موهای حلزون گوش باشد که مسئول تبدیل بسامدهای صوتی به سیگنال‌های عصبی برای مغز هستند. اگر این موها خم شوند و سیگنال‌ها از حالت طبیعی تغییر کنند، ممکن است مغز تصور کند که این تغییر نشانه‌ی ورود صدا به گوش است و در نتیجه با ایجاد احساس زنگ خوردن، تصور صدایی را در ذهن متبادر سازد.

یک وسیله‌ی کوچک در گوش‌بندها و گوشی‌های فعال صدای محیط را وارسی و صدایی مربوط به خود را تولید می‌کند. اگر صدای محیط نسبتاً یکنواخت باشد، این وسیله‌ی کوچک یک موج صوتی با همان دامنه و بسامد را تولید می‌کند. ظاهراً این موضوع، اوضاع را بدتر می‌کند. اما، موج تولید شده کاملاً همگام با موج ناشی از محیط نیست (با آن ناهمفاز است)، و بنابراین این دو موج با تداخل ویرانگر در درون گوش، یکدیگر را خنثی می‌کنند. این اثر می‌تواند مؤثر باشد: وقتی یک گوش کاهش‌دهنده‌ی صدا را که کلید آن خاموش است به گوش می‌زنید، در آن صورت مثلاً ممکن است صدای موتور هواپیما قدری آزاردهنده باشد. اما، وقتی کلید آن را می‌زنید تا گوشی فعال شود، آن صدای آزاردهنده ناگهان به یک صدای ضعیف کاهش می‌یابد.

گوشی‌های طبی و صداهای تنفس

صداهای تولیدشده در بدن یک بیمار در ناحیه‌های سینه، کمر، یا گلو می‌توانند به پزشک علامت دهند که مشکلی وجود دارد. واضح است که پزشک نمی‌تواند صرفاً با ایستادن در نزدیکی بیمار، این صداها را بشنوند. بنابراین، از یک گوشی طبی استفاده می‌کند. آیا پزشک می‌تواند با فشردن گوش خود بر بدن بیمار، این صداها را بهتر بشنود؟ (بگذریم از این‌که این کار ممکن است ناجور باشد)؟ چه چیزی باعث این صداها می‌شود؟

پاسخ: این صداها بیش‌تر ناشی از جریان خون در قلب و جریان هوا و شش‌ها و گلو هستند. صداهای ناشی از جریان هوا هنوز به‌خوبی شناخته نشده‌اند، اما معمولاً آن‌ها را به تلاطمی نسبت می‌دهند که باعث تغییرات فشار هوا می‌شود، که درنتیجه‌ی این تغییرات، امواج صوتی از طریق سینه، کمر و گلو گسیل می‌گردند. تلاطم فوق‌العاده زیاد و یا تلاطم فوق‌العاده کم (**سینه‌ی ساکت**)[15] می‌تواند نشانگر مشکلاتی در جریان هوا و یا آسیبی در شش‌ها باشد. صدای ترقّ و ترق و صدای خس‌خس (که بیش‌تر از صدای ترقّ و ترق طول می‌کشد) می‌توانند نشانه‌ی مانعی بر سر راه هوا باشند، که این خود ممکن است نشانه‌ی بیماری آسم باشد.

صداهای مختلفی که در بدن بیمار به‌وجود می‌آیند به دیواره‌ی سینه منتقل می‌گردند، طوری که انتقال صداهای کم‌بسامدتر شدیدتر است. ولی، این انتقال صداها در طول سطح مشترک سینه و هوا ضعیف‌تر است. ممکن است پزشک بتواند با فشردن گوش خود بر روی سینه‌ی بیمار بعضی از این صداها را بشنود (یقیناً صدای ضربان قلب را می‌شنود) زیرا این صداها می‌توانند در درون مجرای گوش تشدید ایجاد کنند. درواقع، فشردن گوش به بدن بیمار روشی قدیمی برای شنیدن صداهای بدن بوده است. اما، استفاده از گوشی‌های طبی بهتر است و دردسر کمتری دارد. به‌علاوه، چون صداهای کم‌بسامد می‌توانند در درون لوله‌های گوشی طبی تشدید ایجاد کنند، گوشی می‌تواند این صداها را تقویت کند.

گوشی‌های طبی متداول دو نوع‌اند: یک دیافراگم فلزی و یا یک زنگوله‌ی پلاستیکی روی سینه‌ی بیمار فشرده می‌شود. صداهای سینه باعث می‌شود تا دیافراگم یا هوای درون زنگوله به نوسان درآیند، که این خود باعث می‌شود تا هوا در لوله‌های گوشی نوسان کند و بدین‌ترتیب پزشک بتواند نوسان‌ها را بشنود. هم دیافراگم و هم زنگوله، عریض‌تر از لوله‌ها هستند، به‌طوری که می‌توانند صدا را از منطقه‌ی نسبتاً وسیعی بر روی سینه گردآوری کنند، اما نه‌چنان وسیع که پزشک نتواند محل چشمه‌ی صوتی را در سینه‌ی بیمار تشخیص دهد. آزمایش‌ها معمولاً نشان می‌دهند که نوع دیافراگمی بهتر از نوع زنگوله‌ای صدا را به شنونده منتقل می‌کند، اما بسیاری از پزشکان نوع زنگوله‌ای را ترجیح می‌دهند.

سفت کردن سیم گیتار و کش‌ها

چرا سفت کردن سیم گیتار، بسامدی را که هنگام نواختن که می‌شنوید زیاد می‌کند؟ اگر یک کش را با کشیدن آن در بین شست و انگشت خود محکم کرده و به آن زخمه بزنید، بسامدی که می‌شنوید یا همان بسامد قبلی است و یا قدری کاهش می‌یابد؟ چرا باید پیش از نواختن گیتار روی صحنه باید آن را چند لحظه‌ای بیرون صحنه نواخت؟

پاسخ: وقتی به سیم گیتار زخمه می‌زنید، صدای حاصل ناشی از آن است که برخی از امواج آزاد شده در سیم یکدیگر را تقویت می‌کنند، وضعیتی که **تشدید** خوانده می‌شود. این تقویت به معنی آن است که حرکت سیم در هوا نسبتاً زیاد است، که باعث تغییر فشار هوای قابل شنیدن می‌شود. بیش‌تر امواج روی سیم، به حرکت قابل توجه سیم نمی‌انجامند، اما امواجی با طول موج‌های معین می‌توانند باعث تشدید و درنتیجه تولید صدا گردند.

پی‌نوشت

1. Cocktail party
2. Etienne Lombard
3. otoaconstic emissions
4. organ at Corti
5. Heavy rock
6. Iron Butterfly
7. Led zepplin
8. missing fundamental effect
9. rock and roll
10. Ted Nugent
11. Peter Townshend
12. Lars Ulrich
13. passivo
14. active
15. silent chest

منبع

Jearl Walker, The Flying Circus of Physics, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2007.