حكايات علمية

١٣

عالم الصوت

فاضل

دكتور إسلام الشبراوى

استشارى الأنف والأذن والحنجرة

دار المعارف

تصميم الغلاف : محمد أبو طالب

الناشر : دار المعارف – ١١١٩ كورنيش النيل – القاهرة : ج . م . ع .

أخيرًا، وبعد شهر كامل مجهد من الاختبارات، أحس يحيى وشقيقته عزة بهدوء ممتع فى يوم الإجازة الأول، كسلام يأتى بعد حرب قاسية تتطلب من الإنسان كل فكره وتركيزه وطاقته وإبداعه، وبعد أن انتهى الجميع من تناول طعام الغذاء، بتؤدة لم تكن متاحة لفترة طويلة، تحلق الجميع حول أكواب الشراب المنعش الذى أعدته الأم.

وعند ذلك بادر الأب يحيى متسائلاً: وما هى خطتك للاحتفال بأول ليالى عطلتك السنوية يا بطل؟ ورد يحيى باسمًا متصنعًا التثاؤب: آه يا والدى العزيز، كم أتوق لأمسية هادئة تمامًا، فأخيرًا أستطيع إيقاف عقلى عن الركض، أظن أننى سأقضى ليلتى متكئًا على بساط ناعم فوق سطح المنزل، أستمتع بنسمات الصيف المنعشة، وأراقب القمر والنجوم، وألقى بنفسى فى بحر الصمت الهادئ وأستسلم لأمواجه الصامتة.

وهنا نظر الأب لعزة قائلاً: أؤكد لك يا عزة أن حلم يحيى الشاعرى رغم رونقه الظاهرى صعب جدًا إن يكن مستحيلاً.. على الأقل علميًا، لأنه ثبت أن الإنسان لو وُضِعَ فى غرفة عازلة تمامًا للصوت، فإنه سيبدأ فى سماع الأصوات الطبيعية داخل رأسه مثل أصوات جريان الدم فى الشرايين وخلافه.

وردت عزة ضاحكة: ليوم واحد فقط يا أبى دعنا ننسى العلوم ومشاقها، وهمهم يحيى مؤيدًا رأى شقيقته فلم يجد الأب مناصًا من الاستجابة قائلاً: حسنًا، فلنحتفل سويًا بطريقة أكثر إمتاعًا.. فلتستعدوا ولترتدوا ثيابكم الكاملة فى السادسة مساءً، وأعدكما بليلة ممتعة تستمتعان فيها بسهرة تريح أعصابكما الملتهبة.

صفق الجميع فرحًا، وفى السادسة تمامًا كان الجميع فى أبهى حُلَةً ينتظرون الوالد ليصطحبهم إلى تلك الأمسية التى عدها مفاجأة لا يبوح بسرها، وانطلق الجميع فى السيارة، وكلٌ يحاول التخمين وتتضارب الأفكار فى عقله، إلى أن وصلت السيارة إلى دار الأوبرا، وهنا قفز يحيى وطبع قبلة على جبين

الأب، فمنذ زمن طويل كان يتمنى قضـــاء مثل تلك الأمسية، أما عزة فقد نظرت لأمها نظرة ذات مغزى، فعزة الممتلئة بالحماس والحيوية كانت ترجوها سهرة فى دار الملاهى حيث تتقافز بين الأرجوحات والألعاب، وهمست الأم فى أذنها: أعرف مبتغاك وسنلبيه قريبًا، فقط شاركينا متعة الأمسية ولا تظهرى لوالدك تبرمًا، ضغطت عزة على يد أمها مطمئنة شاكرة، ومرت الليلة بين أنغام الموسيقى الحالمة الرصينة حيث تناوبت الأوركسترا الضخمة عزف المقطوعات الرائعة الشهيرة، وكانت متعة الألحان كأنها أيد حنون تدلك الأعصاب وتفك الشرايين المتقلصة والعضلات المتوترة، وتمنى الجميع ألاَّ يَمُرَّ الزمن، إلا أن الساعات الثلاث مرت سريعًا كطيف ملائكى سريع، وانتهى الحفل، وعاد الجمع نشوانًا للسيارة لتبدأ رحلة العودة، ويحيى يصفر بفمه نغمة أعجبته، أما عزة فقد ألقت بنفسها على مقعد السيارة واستسلمت لإغفاءة هادئة لم يكدر صفوها إلا إحساسها بأن السيارة قد توقفت فجأة، وكان هناك بالخارج صوت محرك سيارة نقل ضخمة يهدر بجوار نافذتها، ونظرت عزة خلال الزجاج فزعة كأن كابوسًا هبط لينتزعها من أحلامها الناعمة، كانت هناك منطقة إصلاح بالطريق، فتكدست السيارات بالعشرات لتمر من ممر ضيق، وكان هدير محركات السيارات يمتزج مع قرقعة آلة ميكانيكية تستعمل لتكسير أسفلت الطريق، بينما تعالت بعض أبواق السيارات نافدة الصبر ممتزجة مع صراخ بعض قائدى المركبات، غطت عزة أذنيها لتمنع هذا العذاب المؤلم من النفاذ لرأسها، بينما اكفهر وجه يحيى، وأخذت الأم تربت على كتف الأب طالبة منه التصرف بهدوء وحكمة.. كانت خمس دقائق من العذاب بعدها خرج الأب من عنق الزجاجة الضيق وانطلق بالسيارة فى نعومة على الطريق الرحب.

نظر الأب لوجه يحيى وعزة العابسين ثم انفجر ضاحكًا، ولم يطل العجب بالجميع إذا أردف الأب قائلا: أستميحكم عذرًا، لكن ها هو العلم يعود هنا ورغمًا عنا جميعًا ليقول كلمته، وفيما بين حلم يحيى بليلة هادئة صامتة،

وبين ساعات طويلة ممتعة مـرت سريعًا من النغم والألحان العذبة، ودقائق معدودة من ضجيج متنافر مزعج أفسد علينا مشاعرنا، وقعنا جميعًا فى ليلة من المؤثرات الصوتية، علمنا فيها يقينًا مدى التداخل بيننا وبين هذا المؤثر المسمى الصوت، بنعيمه وجحيمه، أليس كذلك.

وحك يحيى رأسه قائلاً: أليس ذاك فعلاً بعجيب!! كيف يستطيع الصوت أن يتلاعب بنا هكذا؟

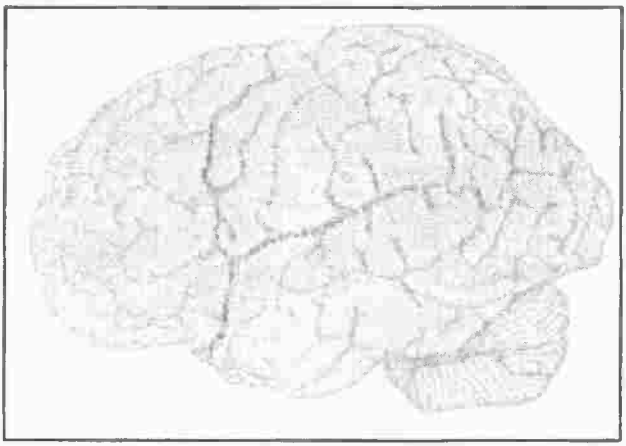
والتفت الأب إليه: غدًا بعد صلاة المغرب نجتمع سويًا إن شاء الله لنقلب صفحات هذا الموضوع ونتدبر ما فيه من علوم وحكمة.

فى اليوم التالى التف الجميع حول الأب فى اشتياق للجلسة العلمية التى دائمًا ما جمعت شمل الأسرة، والتى أصبحت سمة معروفة لأسرة يحيى وعزة، حتى أن الكثيرين من زملاء المدرسة كانوا يحفظون مواقيتها والموضوعات التى تثار فيها، بل ويداومون على حضورها ليدلى كل منهم فيها بدلوه، ويستزيد من متعة تبسيط العلوم بالأسلوب المشوق الذى كان يطرح فيها.

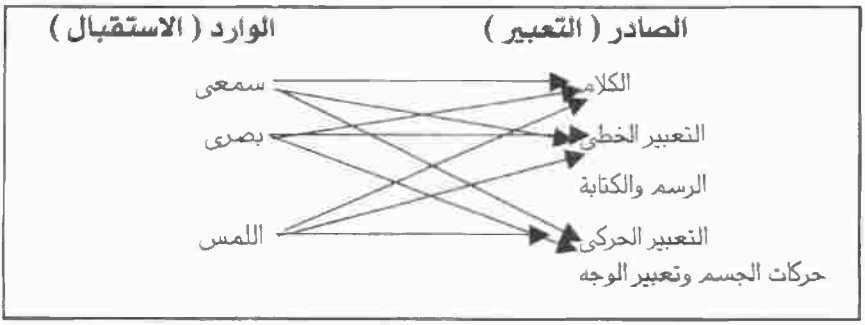
بدأ الوالد حديثه قائلاً: لقد وعدتكم بالأمس أن نناقش موضوع الصوت، وكيفية تدخله فى حياتنا، أبنائى الأعزاء: فى البدء خلق الله تعالى الكون المادى، وكونه من عشرات العناصر التى تآلفت فيما بينها لتكون عالمنا اللامتناهى بمفرداته من ماء وهواء وصخور ورمال مما نطلق عليه «الجوامد». وخلق فى كل منها بل وفى أصغر ذراتها ما يسمى بالطاقة، تلك الخاصة التى تضفى على الأجسام المادية قدرات الحركة والحرارة وتدفعها للتغير والتفاعل.. إلخ، أى أن تلك الطاقة هى مجازًا بمثابة الروح الكامنة داخل أصغر الذرات التى لا تراها العين ولا المجاهر العادية وصولاً إلى أكبر مجرات الكون التى يصعب تصور أبعادها الضخمة، وخلق الله تعالى لهذا العالم الجامد مليارات القوانين التى تحكم علاقات كل مفرداته مما لا نزال نكتشفه كل يوم فى علوم الطبيعة والكيمياء والرياضيات والفلك.. إلخ، وكلما زادت مكتشفاتنا، زاد يقيننا بأننا لا نزال نلهو على شاطئ البحر اللجى الزاخر من

قوانين أحكام الخالق ولم نبدأ الخوض فيه بعد. ووسط هذا الكون الجامد الذى لا يحيط بأبعاده الشاسعة ولا قوانينه وأحكامه إلا الخالق، خلق الله الحياة والأحياء مثل ما نعرفه على الأرض ولا يستبعد العلماء وجوده فى مناطق كونية أخرى، ولم يشأ الله تعالى أن يترك الكائنات الحية وعلى رأسها الإنسان، أعلاها وأذكاها وأكثرها رقيًا، يحكمها القيد الصارم للقوانين الطبيعية الذى لا يترك للجوامد أى مجال لأى حرية أو إرادة. فوهبها جميعًا وبالذات فى المملكة الحيوانية جهازًا يتكون من مليارات الوصلات والأقطاب الإلكترونية والكهربية يسمى المخ، والذى يزداد فى الحجم والمقدرة كلما ازداد الحيوان رقيًا ليصل لذروة الإبداع والتعقيد فى الإنسان بما لا يمكن محاكاته حتى مع كل التقدم التكنولوجى الذى نعايشه. وأصبح هذا الجهاز الحيوى الثمين هو مخزن الغرائز التى تحكم وظائف الحيوان وبعضها معقد جدًا تتوارثه أجيال النوع الحيوانى جيلاً بعد جيل منذ ملايين السنين. ثم أصبح ذلك المخ قادرًا على الإبداع والتفكير والإرادة واتخاذ القرار فى الإنسان، وهكذا صار المخ مستودعًا للعقل الذى يميز الإنسان العاقل المدرك الواعى على باقى أنماط الحياة، وقد شاءت العناية الإلهية أن تحفظ هذا المخ الثمين الرقيق داخل علبة عظيمة صلبة مغلقة اسمها الجمجمة. وكان لزامًا أن يساعد الله هذا المخ المعزول عن بيئة الوسط الذى يعيش فيه الكائن الحى بوسائل تجمع له المعلومات عن كل ما يحيط به، فأسبغ الله على مخلوقاته نعمة الحواس الخمس، كنوافذ تتحسس بها طريقها وسط أسرار الحياة حولها، فوهبها حاسة اللمس التى تدرك بها أشكال وأبعاد وخواص المواد المحيطة بها عن طريق شبكات هائلة من الأعصاب المبثوثة فى كل أطراف الجسم على سطح الجلد، ووهبها حاستى الشم والتذوق وهما مما يمكن تصنيفه بالحواس الكيماوية، حيث تستطيع هاتان الحاستان التعرف على الخواص الكيماوية للمواد مما أصبح يتعرف عليه المخ كخاصتى الرائحة والطعم، ووهبهما حاستين آخرتين تدركان نمطين من أهم أنماط الطاقة

السائدة فى الكون وهما طاقتى الصوت والضوء، وأصبح المخ يتعرف بهما على الكثير من خصائص وأبعاد المواد المحيطة به عن طريق حاستى السمع والبصر، وهكذا أصبح الملك المتوج المسمى المخ عالما مبصرا سميعا لكل ما يحيط به من أشكال المادة سواء على صورة الكتلة أو صورة الطاقة، وبالتالى أصبح قادرا على اتخاذ قراراته بصورة صحيحة مبنية على معلومات سليمة عما يحيط به خارجيا فى البيئة (شكل ١).



شكل ١



فلسفة عمل الجهاز العصبى: تقع المراكز العصبية للمخ فى مركز الجهاز العصبى وهذه تقوم باستقبال وتحليل وتكامل وادراك المعلومات الواردة من الأعضاء الحسية (السمع والبصر واللمس والشم والتذوق..) ثم بعد ذلك تصمم وتصدر القرارات التعبيرية (الكلام والكتابة والحركة) التى تقوم الأعضاء الحركية كالعضلات بتنفيذها.

بعد تلك المقدمة أعزائى أعتقد أننا نعرف الآن ماهية الصوت، وكيف أنه نوع من أنواع الطاقة، كما ندرك ماهية حاسة السمع التى عليها أن تلتقط تلك الطاقة من البيئة ثم تحولها من طاقة ميكانيكية تهز عظام الأذن إلى طاقة كهربية تنتقل عن طريق أعصاب السمع للمراكز المختصة بالسمع فى المخ، حيث تقوم تلك المراكز بتحليل الإشارات الكهربية الواصلة إليها وتفهمها ثم تصدرها لمراكز الوعى لتعرف ماهية هذا الصوت، مرتفع أم منخفض، حاد أم أجش، قادم من اليسار أو اليمين أو الخلف، وما هو مدلوله.. إلخ.

وهنا تدخل يحيى طالبًا الإذن بالكلام فقال: إذن يا والدى، فالصوت هو نوع أو مظهر من أنواع الطاقة السائدة حولنا، ولكى نستطيع أن ندركه فإن الجهاز السمعى قد جهزة الله بشكل معين يستطيع أن يلتقط تلك الطاقة ثم يصدرها للمخ الذى يفهم مدلولات تلك الإشارة الصوتية.

أجاب الوالد: بالضبط يا يحيى، نحن الآن أمام قضية ذات شقين، مؤثر خارجى هو الصوت، وجهاز التقاط هو الجهاز السمعى، ولفهم القضية ينبغى أن نلم بشقيها، وهذا هو موضوع لقائنا غدًا فى نفس الموعد.

فى اليوم التالى، وفى نفس الموعد، انتظم الجمع الذى تزايد عدده بانضمام بعض أصدقاء يحيى فى الجماعة العلمية بالمدرسة، والذين كثيرًا ما كانوا يترقبون موعد تلك الجلسات. وجلس الكل فى دائرة كبيرة توسطها الأب الذى حيَّا الأصدقاء، ثم استطرد قائلاً:

بالأمس عرفنا أن الصوت هو نوع من الطاقة، وهذا النوع من الطاقة يصدر نتيجة تذبذب جسم ما مثل آلة موسيقية أو حنجرة بشرية أو خلافه، وعندما يتذبذب مصدر الصوت أى يتحرك للأمام ثم إلى الخلف لمسافات متساوية تصدر عنه موجات من الطاقة تسمى طاقة الصوت، وتلك لابد أن تنتقل خلال وسط ما غازيًا مثل الهواء أو سائلاً أو صلبًا وذلك عن طريق تحريك جزيئات هذا الوسط للأمام ثم للخلف، وهذه الحركة الاهتزازية الطارئة على جزئ ما من الوسط تقوم بتسليم الطاقة للجزئ المجاور لها والذى يهتز بدوره بنفس

الطريقة، وهكـذا دواليـك تنتشـر الطاقـة الصوتيـة عـن طريـق التذبـذب المتـوالى لجزئيات الوسط الناقل. وعلى ذلك لا يمكن لطاقة الصوت أن تنتقل فى الفـراغ الذى لا يحتوى علـى أيـة جزيئـات (شـكل ٢)، وقـد أدرك رواد الفضـاء تلـك الحقيقة حينما خرجوا لما يسمى الفراغ الكونى، حيث لا يوجـد غـلاف جـوى هوائى كالموجود حول كرتنا الأرضية، واحتاجوا لأجهزة خاصـة للتواصـل فيمـا بينهم. هذا وتنتشر تلك الطاقة الصوتية على شكل موجات كتلـك التـى تعقب إلقاء حجر صغير فى بحيرة ساكنة، أى على صورة دوائر متحـدة المركـز تـزداد اتساعًا بالتدرج على سـطح البحـيرة (شـكل ٣)، أى أن الصـوت ينتشـر علـى شكل موجات تسـمى الموجـات الصوتيـة، ولعلنـا نسـتطيع تخيـل شـكل تلـك الحركة الموجية لو راقبنا مثلاً زجاجة فارغـة كـالتى نراهـا علـى قمـة إحـدى أمواج البحر. ولاحظنا أن الزجاجـة لا تندفـع مـن فـوق قمـة الموجـة تجاهـنا للأمام بسهولة، بل أنها فقط تتذبذب على قمة الموجة لأعلى وأسـفل ولمسـافات متساوية فى مكان ثابت تقريبًا..

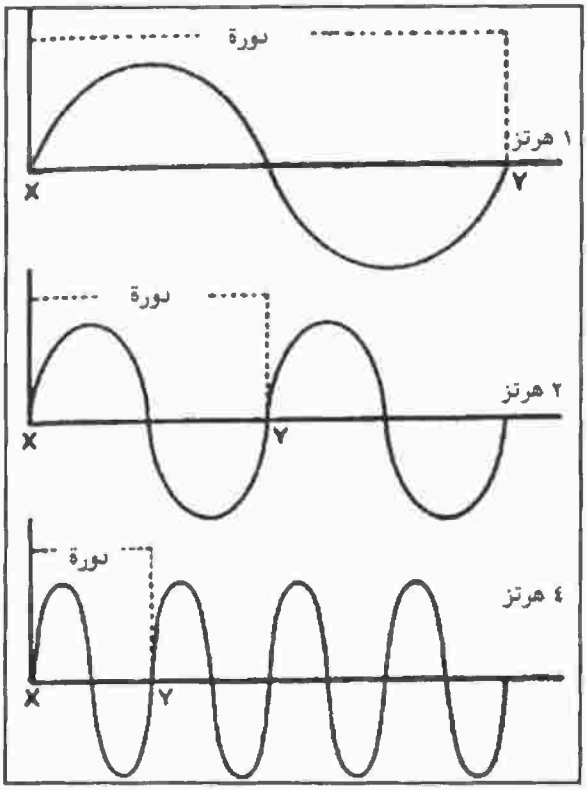
(شكل ٢) ينتقل الصوت على هيئة موجات متتابعة ، بأسلوب يشابه إلقاء حجر على سطح الماء.

(شكل ٣) تجربة توضح عـدم انتقـال الصـوت فـى الفـراغ حيـث أن دقـات الجـرس الموجـود داخل وعاء مفرغ لا يمكن سماعها.

ومن هنا لو استطعنا رسم الشكل الحركى لتلك الموجة أو للشكل الموجى لرأيناه عبارة عن ارتفاع من نقطة أو مستوى معين على سطح البحر إلى نقطة معينة تسمى قمة أو ذروة الموجة، يعود بعدها الماء لنفس المستوى المبدئى السابق لينخفض ثانية لنفس المسافة للأسفل ليعاود بعدها الارتفاع إلى المستوى المبدئى وهكذا دواليك، وبنفس الطريقة أحبائى تنتقل موجة الصوت خلال جزيئات الوسط الناقل لها، بادئة من نقطة مبدئية ثم ترتفع لدرجة معينة تحددها شدة الطاقة المتواجدة فى تلك الموجة، فالموجة الصوتية العالية التى نستقبلها كصوت عال صاخب مرتفع، تزيح جزئيات الهواء لمسافة أكبر وبشدة أكبر وترتفع فيها لمسافة كبيرة تسمى سعة الموجة، هذا بخلاف موجة الصوت الهادئ التى تزيح الجزئيات لمسافة صغيرة، وبالتالى ترتفع لمسافة صغيرة أيضًا، إذن فقوة وارتفاع الصوت يحددها سعة الموجة أى مقدار الارتفاع الذى تصعد إليه، فالموجات التى تصدر عن الصراخ ترتفع إلى سعة أكبر من تلك التى تصدر عن الهمس، هذا ويقوم العلماء بقياس شدة الصوت التى نستقبلها على صورة ارتفاع أوصخب بوحدات تسمى «بل» على اسم مخترع التليفون «الكسندر جراهام بل» وتلك تم تقسيمها لاحقًا لوحدات أصغر تسمى «ديسى بل»، هذا وقد وجد أن أقل مستوى للفرق فى الشدة بين صوت وآخر تستطيع الأذن تمييزه هو (١) «ديسى بل» (شكل ٤).

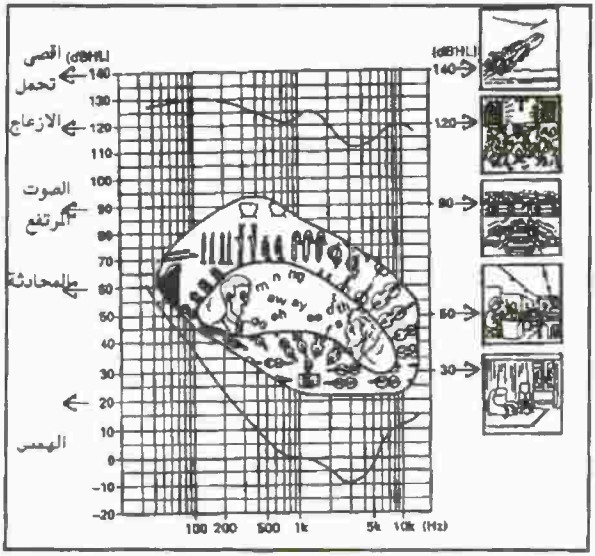
وهنا تساءل يحيى: هل تستطيع إذن يا أبى أن تعطينا بعض الأمثلة عن شدة الأصوات المختلفة؟

ورد الأب: بالطبع، فإذا همس لك شخص ما على بعد متر واحد من أذنك فإن هذا الصوت تبلغ شدته (٣٠) «ديسى بل»، أما إذا تحدث بطريقة طبيعية فستبلغ شدة الصوت (٦٠) «ديسى بل»، والصراخ (٩٠) ديسى بل، أما إذا أصدر صوتًا مقداره (١٢٠) «ديسى بل» فإنك ستشعر بالألم والانزعاج (شكل ٥).



(شكل ٤)

الشكل الموجى لانتقال طاقة الصوت ومنه نتبين أن تردد الموجة الصوتية يعنى عدد الذبذبات الكاملة لتلك الموجة فى الثانية، والمعبر عنها بوحدات تسمى «هرتز» كما أن شدتها وقوتها تحددها سمة ارتفاع الموجة لأعلى وأسفل.



(شكل ٥)

المستويات المختلفة لشدة الصوت (على المحور الرأسى)، ونلاحظ أن مستوى الازعاج الصوتى يقع عند ١٢٠ ديس بل، بينما أقصى ما تتحمله الأذن هو مستوى ١٤٠ ديس بل.

وأرجو منكم يا أبنائى فقط أن تتذكروا أن تلك الوحدات المسماة «ديسى بل» ليست وحدات حسابية بسيطة ، بل هى وحدات لُوغَاريتميَّة أى ببساطة أنه لو كان أقل صوت تسمعه الأذن الطبيعية هو (٠) صفر «ديسى بل»، فإن (١٠) «ديسى بل» تعنى عشرة أضعاف هذا الصوت المبدئى، و (٢٠) «ديسى بل» تعنى مائة ضعف، و (٦٠) «ديسى بل» تعنى مليون ضعف وهكذا.

وهنا رفعت عزة يدها طالبة الإذن بالكلام، ولما أشار لها الأب قالت: حسنًا، لقد عرفنا الآن كيف أن بعض الأصوات صاخبة مرتفعة والأخرى خافتة هامسة، ولكن هل هناك شىء ما يجعلنا نتعرف على بعض الطبائع الأخرى للصوت مثل قدرتنا على التفريق بين صوت الصفارة الحاد وصوت الطبلة المنخفض مثلاً؟.

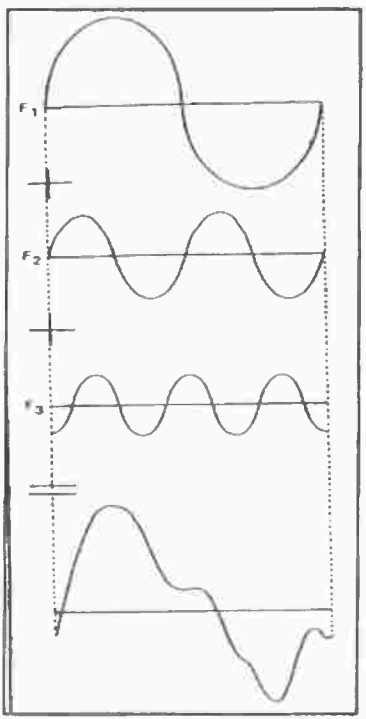
ولم تفت الفرصة على يحيى الذى عقب قائلاً: تقصدين كالفرق بين صوت ماما الناعم وصوت بابا الأجش.

وأغرق الجميع فى الضحك.

وبعد هنيهة تدخل الأب: حسنًا، حسنًا، بكل تأكيد أيها الأحباء فأنتم الآن تتحدثون عن الخاصة الثانية للصوت وهى (الحدة)، فهناك درجات مختلفة للصوت بعضها حاد مرتفع عال مثل الصفير وبعضها أجش منخفض ثقيل مثل قرع الطبل، والفرق هنا يكمنُ فى مقدار تذبذب أو ترددية الموجة الصوتية الصادرة عن مصدر ما، بعبارة أخرى لو أن آلة ما أصدرت صوتًا يتردد بمقدار ألف مرة فى الثانية فإن الصوت الصادر عنها ستستقبله آذاننا على أنه أحَد أو أرفع أو أعلى من صوت آخر صادر عن مصدر يتذبذب خمسمائة مرة فقط فى الثانية، أى أنه كلما ازداد تذبذب الموجات الصوتية فى الثانية الواحدة، كلما كان الصوت الصادر عنها أحَد أو أرفع، والعلماء يسمون الدورة التذبذبية الواحدة (للأمام ثم الخلف) باسم وحدة (هرتز)، وفى مثالنا السابق، فإن المصدر الأول ينتج موجه ترددها ألف هرتز، أما المصدر الثانى فينتج موجة ترددها خمسمائة هرتز.. وهكذا، والفرق هنا يكمن فى طبيعة

وقدرة الآلة الصوتية ذاتها، فمثلاً لأن حنجرة الأم يا يحيى تختلف تشريحيًا عن حنجرة الأب، فطبيعة الصوت الصادر عنها يكون رفيعًا حادًا وذو تردد أعلى من صوت الأب الأقل ترددًا، ويستطيع الصوت البشرى المدرب أن ينتج أصواتًا كثيرة ذات طبقات حادة متعددة، ولعل من يهوى منكم الاستماع للأوبرا ليعرف مدى الحدة والارتفاع الذى قد تنتجه حنجرة مغنية سُوبَرانُو راقية.

وفى النهاية، نجد هناك خاصة ثالثة تميز أى آلة موسيقية أو صوتية وتعطيهما نكهة صوتية معينة أو نوعية للنغمة، تفرقها عن غيرها هى خاصة «الجرس الموسيقى»، حيث أن أية آلة صوتية حنجرة كانت أو كمان أو خلافه تنتج مجموعة من النغمات التى تتكون وحداتها من مضاعفات تردد النغمة الأساسية، وتندمج هذه النغمات المنفردة سويًا لتنتج فى النهاية نغمة مركبة تتكرر وحداتها بانتظام لتعطى نكهة مميزة للصوت الناتج عن الآلة (شكل ٦).



(شكل ٦)

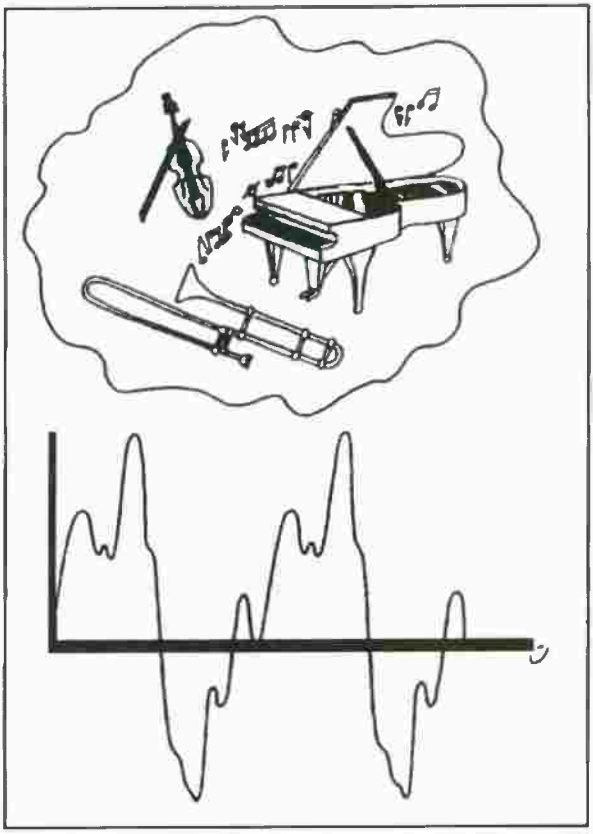
الموجة الصوتية المركبة تتكون من موجة أساسية ذات تردد معين، وموجات ثانوية ترددها هو أضعاف صحيحة للموجة الأساسية، وتلك كلها تتراكب سويًا لتعطى النغمة المركبة.

وهنا تدخل يحيى ثانية قائلاً: إذن فهذا هو الذى يصنع الفرق بين آلة الكمان وبين آلة تكسير الأسفلت.

أجاب الوالد: ليس تمامًا يا يحيى، فالصوتان صدرا عن آلة صوتية، وصوت الكمان الموسيقى مثل أى صوت آخر يمكن أن يصدر عن مصدر عاقل تتكرر فيه وحدات النغمة التى ذكرناها بانتظام، أما آلة تكسير الأسفلت هذه فكانت النغمات الصادرة عنها ناشزة أى لا تتبع أى نظام معين، وهذا هو ما اصطلح على تسميته «بالضوضاء» (شكل ٧)، ولمعلوماتكم فإن هناك مراكز علمية كبرى تعنى بموضوع التسمع على الكون الخارجى وتلتقط الأصوات المتواجدة فيه، وهى تحاول جاهدة أن تلتقط أية نغمة منتظمة لأن ذلك يعنى بالتالى وجود كائن عاقل فى مكان ما بالكون.. إذن فالضوضاء هى صوت أو مجموعة أصوات تفتقد نغماتها لأى انتظام، وتلك تزداد تأثيراتها الضارة كلما ارتفعت شدتها، وقد أثبت العلماء أن الضوضاء والتلوث الصوتى يسهمان لحد كبير فى ظهور واشتداد أمراض القلب والشرايين والأمراض العصبية والنفسية، وشيوع التوتر والقلق الاجتماعى لذلك تحرص كل الحكومات الآن على سن تشريعات تحد من خطورة هذا النوع من التلوث.

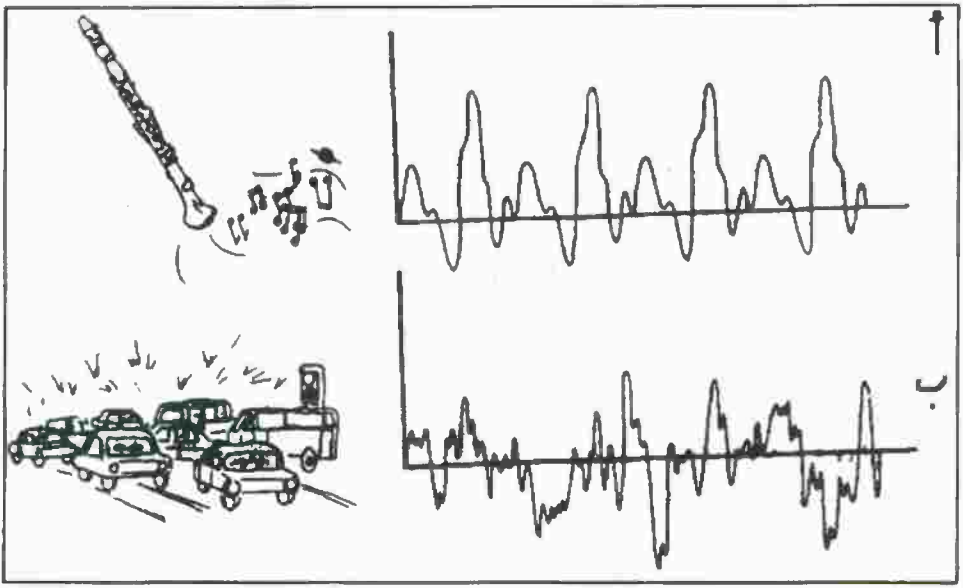
وتدخلت عزة متسائلة: إذن يا والدى، هل تستطيع أن تحدد درجة تردد صوتى وكلامى؟

أجاب الوالد: فى الواقع إن الحنجرة البشرية يا عزة تنتج نغمات متعددة ذات تردد وشدة مختلفة، تختلف من مقطع لآخر فى الكلام، أى أنها لا تنتج فقط نغمة صافية كالتى كنا نتكلم عنها سابقًا، فمثلاً الحروف الساكنة فى نفس الكلمة تخرج فى ترددات أعلى من تردد موجات الحروف المتحركة، وهذه معجزة آلة الصوت الحية لأنها تنتج العديد جدًا من النغمات الصافية والمركبة وتلك تتآلف فيما بينها وتنتج فى النهاية صوتنا البشرى المعقد والمختلط النغمات، عمومًا فهناك الآن أجهزة تستطيع أن تحلل هذه الحزم المتشابكة من النغمات بالنسبة لكل شخص، بل وتستطيع تحديد «بصمة



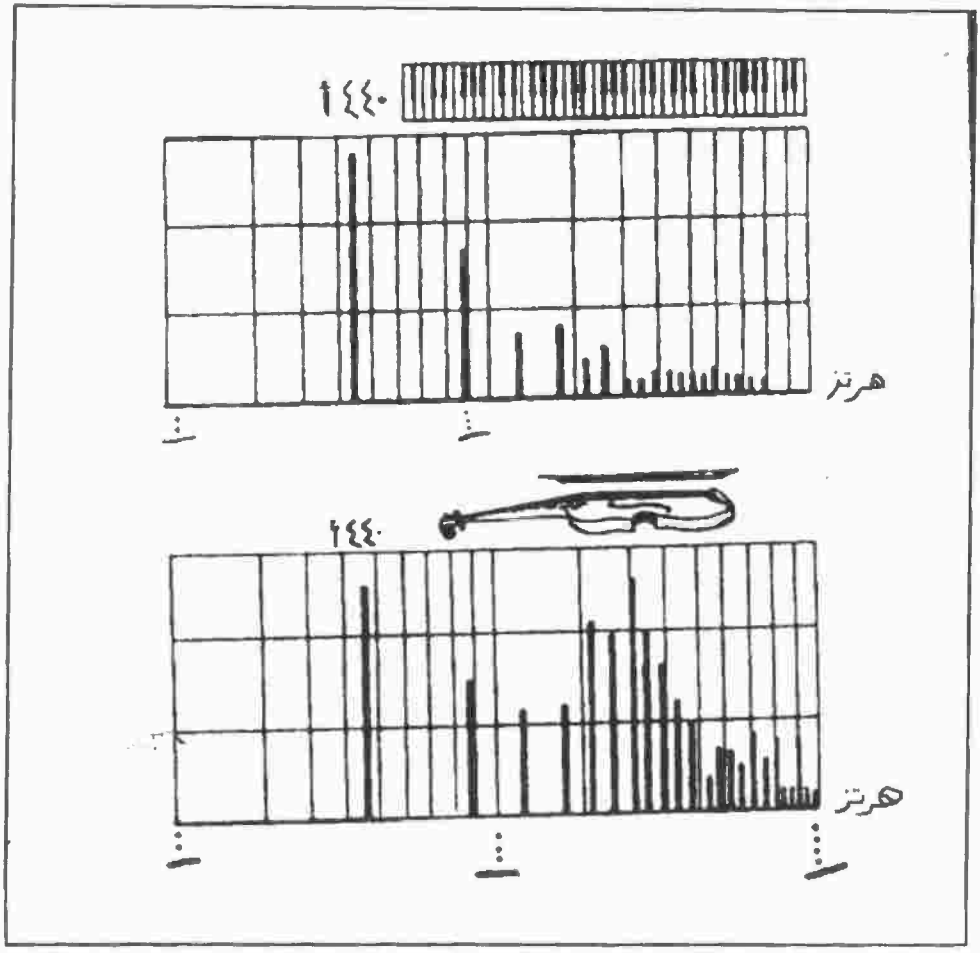
(شكل ٧)

التكـرار المنتظم لوحـدات النغمـة هـو الخاصيـة التـى تُفـرق بـين الصوت الموسيقى أو المعبر الصادر عن عقـل مفكر وبين الضوضاء.



للصوت» تميز كل إنسان كبصمات الأصابع تمامًا، فالصوت البشرى إذن يمكن تحليله لمجموعة من الموجات المنفردة مثلما نقوم بتحليل الضوء الأبيض إلى أطياف ملونة متعددة الخصائص عن طريق إمراره خلال منشور زجاجى (شكل ٨).

والآن أبنائى الأعزاء، أعتقد أنه قد حان وقت ذهابكم للنادى لممارسة رياضتكم المفضلة ولقاؤنا غدًا إن شاء الله.



(شكل ٨) رسم توضيحى لكيفية تحليل النغمات المعقدة المختلطة الصادرة عن آلة صوتية (الكمان والبيانو هنا)، إلى وحداتها الأساسية من نغمات صوتية بسيطة ذات ترددات مختلفة (تحليل الصوت).

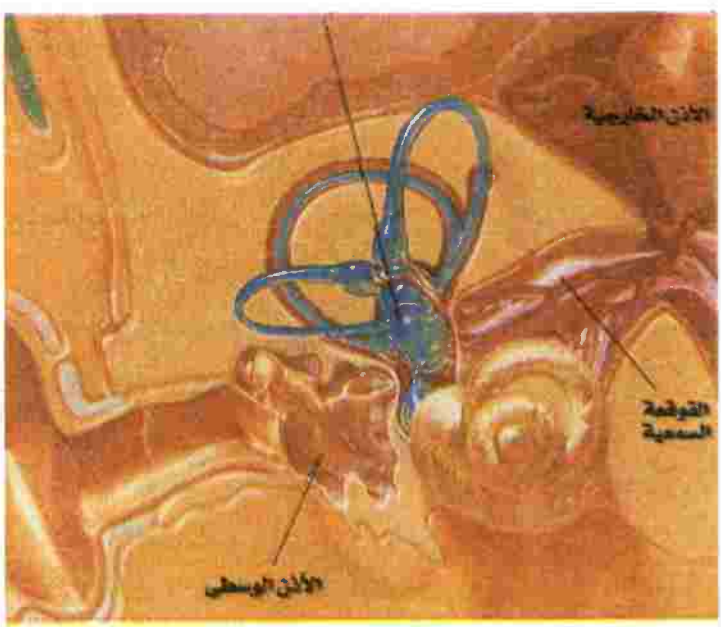
وفى اليوم التالى، انتظم الجمع انتظارًا لجلسة السمر العلمى، وبعد أن انتهوا من تناول أكواب عصير المانجو المثلج، بدأ الأب حديثه للأبناء قائلاً: بالأمس قمنا بتغطية الكثير من المواضيع المتعلقة بفيزْيَاءِ الصَّوْتِ، وأصبحنا ندرك الآن النوعيات المختلفة للموجات الصوتية الصافية والمركبة والمعقدة وكذلك أسلوب انتقال الصوت، والخصائص الفيزيائية للموجة الصوتية.

وبقى أن نستعرض سويًا تلك النعمة العظمى بالغة الأهمية والمسماة «الجهاز السمعى» والذى بلغ درجة تطور عالية فى الإنسان، فهذا الجهاز لا يستجيب فقط للأصوات الخارجية، بل أن يجمعها ويكثفها ويحولها من موجات تضَاغُطِيَّة موجبة وسالبة تسرى فى الهواء إلى إشارات كهربية تحمل كل صفات الموجات الأم من شدة وحِدَة وجرس وتحديد لجهة المصدر وخلافه ثم تنقل تلك الإشارات الكهربية للمراكز السمعية فى المخ، وتلك الأخيرة هى التى تقوم بفك تلك الشفرة الكهربية المعقدة وتستقبلها على هيئتها الصحيحة وتدرك مدلولاتها بالتعاون مع مراكز كثيرة بالمخ مثل مراكز الوعى والإدراك والذاكرة وغيرها.

وببساطة فإن الجهاز السمعى يتكون من جزئين رئيسيين هما: أولاً، الأذن وهى أداة الاستقبال والالتقاط التى تجمع الموجات الصوتية وتحولها من طاقة ميكانيكية إلى موجات كهربية، وثانيًا، المراكز السمعية بالجهاز العصبى، وتلك تستقبل النبضات الكهربية المعبرة عن الصوت وتقوم بتحليلها وتحديد خصائصها ثم فهم مدلولاتها.. وعلى هذا فالجهاز السمعى هو أداة تواصل أساسية للكائن مع البيئة ومع المجتمع، ولولا وجود حاسة السمع لما أصبح للأصوات أى قيمة، وبالتالى فلا مجال هناك لنشوء اللغة والكلام، تلك التى تقوم بنقل الأفكار والمعلومات والمشاعر، وبالتالى فلا تطور ولا حضارة مما نراه حولنا الآن ولأصبحت الحياة موحشة معزولة ومفتقدة للكثير من معناها.

وسأحاول الآن ببساطة أن أشرح لكم تركيب هذا الجهاز الرائع، فالأذن يمكن تقسيمها تشريحيًا لثلاثة تراكيب متصلة هى: الأذن الخارجية ثم

الوسطى فالأذن الداخلية (شكل ٩)، والأذن الخارجية تتكون من صوان الأذن، وهو عبارة عن شريحة غُضْرُوفيَّة متعرِّجةِ يكسُوها الجلد، وتعمل عمل البوق أو المخرُوطِ الذى كان يستعمل قديمًا لتضْخِيم الصوت، فهو يجمع الأصوات الخارجية ويصبها فى قناة الأذن الخارجية، وقناة الأذن الخارجية قناة قصيرة متعرجة ثلثها الخارجى غُضْرُوفِى ويتصل بصوان الأذن، أما الثلثان الداخليان فهما قناة عظمية تقع فى قاع الجمجمة، هذا وتتبطن تلك القناة كلها بجلد دقيق للغاية يحتوى على غدد خاصة تفرز مادة شمعية تقوم بحماية جلد الأذن من الأتربة والأجسام الغريبة ولها خواص مضادة للميكْرُوبَات، وتنتهى قناة الأذن فى الداخل بغشاء بيضاوى مشدود ورقيق يسمى غشاء طبلة الأذن، ويفصل هذا الغشاء بين قناة الأذن الخارجية والأذن الوسطى، ويتصل مباشرة بالعظيمة الأولى من عظيمات الأذن الوسطى الثلاث.



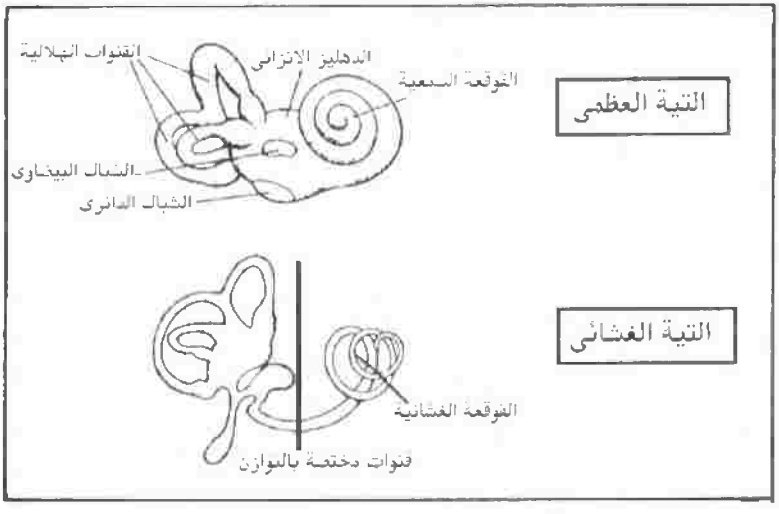
(شكل ٩) تركيب الأذن البشرية : الأذن الخارجية ثم الوسطى فالداخلية (القوقعة السمعية).

أما الأذن الوسطى فهى التى تقع مباشرة للداخل من الأذن الخارجية ويفصلها عنها غشاء طبلة الأذن. وهى عبارة عن حجرة عظمية بالكامل ما عدا جدارها الخارجى الذى قلنا إنه هو غشاء الطبلة وهو غشاء مرن متحرك. وتلك الغرفة مبطنة بغشاء مخاطى مثل باقى الجهاز التنفسى. وتتصل بالهواء الخارجى عن طريق أنبوبة دقيقة تمتد من جدارها الأمامى عبر قاع الجمجمة لتفتح فى منطقة خلف الأنف من الداخل تسمى البلعوم الأنفى، ويساعد هذا الاتصال بين الأذن الوسطى والجو أساسًا على إبقاء ضغط الهواء داخل الأذن الوسطى مساويًا للضغط الجوى فى البيئة الخارجية، وهذا يعطى استرخاء ومرونة لغشاء الطبلة مما يعطيه حرية استجابة أكبر للاهتزاز مع موجات الصوت المصطدمة به، وتعتبر عظيمات الأذن الثلاث أهم مكونات الغرفة المسماة الأذن الوسطى، وجميعها عظام دقيقة جدًا تتصل ببعضها البعض عن طريق مفاصل دقيقة مرنة، وأولها هى المسماة «المطرقة» ذلك لأنها تشبه مطرقة الحداد، وتلك ترتبط بشدة بغشاء الطبلة بجزئها السفلى، أما جزؤها العلوى فيتصل بالعظمة الثانية المسماة «السندان» حيث أنها تشبه الكتلة الحديدية التى يدق عليها الحداد بمطرقته، وتتصل عظمة السندان عن طريق ذراع طويلة بالعظمة الأخيرة الداخلية المسماة «الرِّكَاب» لأنها تشبة شكل الركاب المتصل بسرج الجواد والذى يضع فيه الفارس قدمه، وقاعدة تلك العظمة الأخيرة بيضاوية الشكل وتقع داخل شباك عظمى يناسب حجمها بإحكام ويسمى الشباك البيضاوى، ويقع هذا الشباك داخل الجدار الداخلى للأذن الوسطى الذى يفصل بين الأذن الوسطى والداخلية، أى أن هذه القاعدة العظمية لعظمة الركاب فى شباكها البيضاوى هى نقطة الاتصال بين الأذن الوسطى والداخلية.

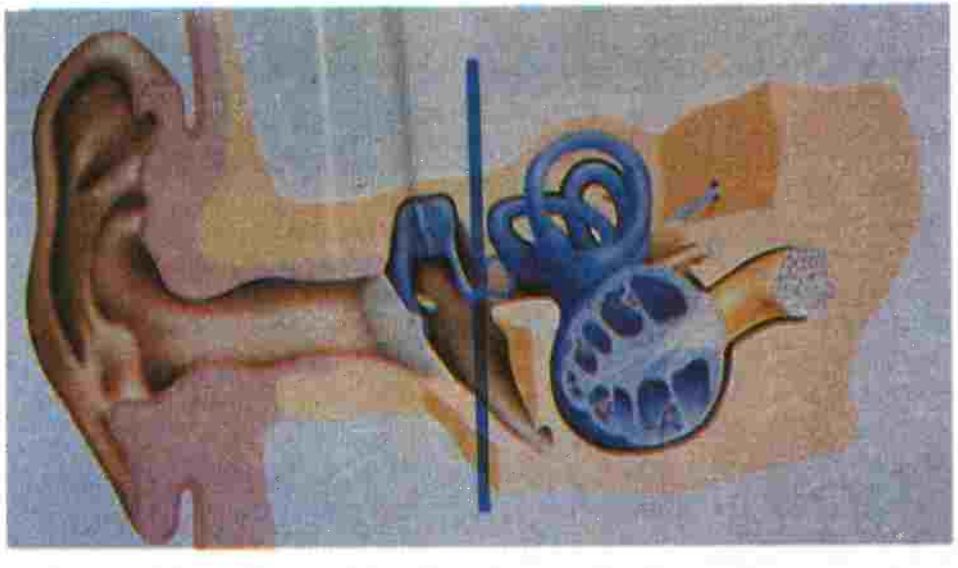
أما الأذن الداخلية، فهى مجموعة من التراكيب الغشائية الرقيقة جدًا، والمعقدة الشكل، لذا تسمى «التيه الغشائى»، ونظرًا لدقة ورقة هذا العضو المفرط الحساسية، لذا فقد وضعه الله تعالى داخل حافظة عظمية تغلفها من

الخارج وعلى نفس شكلها تقريبًا تسمى التِّيه العَظْمِى (شكل ١٠)، وهذه بدورها مدفونة داخل عظمة كثيفة تسمى العظمة الصَّخْرية فى قاع الجمجمة. هذا ويمكن تقسيم الأذن الداخلية وظيفيًا إلى قسمين: قسم أمامى يختص بحاسة السمع وقسم خلفى يهتم بوظائف اتزان الجسد، وهذا الجزء الأمامى المختص بوظيفة السمع عبارة عن أنبوبة غشائية دقيقة تلتف حول دعامة عظمية تتخذها كمحور للالتفاف، لذا فهذه الأنبوبة الملتفة مرتين ونصف تتخذ شكل القَوْقَعَة التى تتخذها الحيوانات الرَّخَوية كمسكن لها (شكل ١١)، وتلك القوقعة الغشائية يحيط بها من الخارج قوقعة عظمية أكبر منها، وتمتلئ القوقعة الغشائية بسائل يسمى اللمف الباطن، كما يحيط بها وفى الفراغ الواقع بين التيه الغشائى والعظمى سائل آخر ذو مواصفات كيماوية أخرى اسمه اللمف الظاهر، وهذه السوائل مضغوطة وتملأ فراغات الأذن الداخلية تمامًا، لذا فإن أى اهتزاز ميكانيكى بها ينتقل بسرعة فى كل أجزاء السائل، مما يجعل الأذن الداخلية ملائمة تمامًا لأول وظائفها وهو نقل الموجات الصوتية الاهتزازية، وهذه الاهتزازات هى التى يقوم عضو حسى دقيق مكون من خلايا عصبية ذات أهداب، ويسمى «عضو كورتى»، ويقع على طول امتداد قاعدة القوقعة الغشائية، بتحويلها إلى نبضات كهربية تنتقل خلال أعصاب السمع للمخ، وتلك هى الوظيفى الثانية للأذن الداخلية: الترجمة، أى تحويل الاهتزازات الميكانيكية إلى نبضات كهربية.

ثم استطرد الأب قائلاً: الآن أعزائى، وبعد أن عرفنا التركيب الأساسى للعضو المسمى الأذن بقى لنا أن نعرف ببساطة كيف يقوم هذا العضو بوظيفته، وببساطة فإن الصوت الذى يُنقل عن طريق موجات متتابعة من تضاغط وتخلخل جزئيات الهواء، يقوم صوان الأذن بتجميعه وتركيزه داخل قناة الأذن الخارجية، تلك التى تنتهى بغشاء الطبلة المشدود، فيهتز هذا الغشاء طبقًا لذلك، ومنه تنتقل الاهتزازات إلى عظمة المطرقة المرتبطة بطبلة الأذن فتهتز اهتزازًا مماثلاً ينتقل منها لعظمة السندان ثم لعظمة الركاب، وعندما تهتز عظمة الركاب هذه داخل الشباك البيضاوى الذى شرحنا أنه واقع بين الأذنين

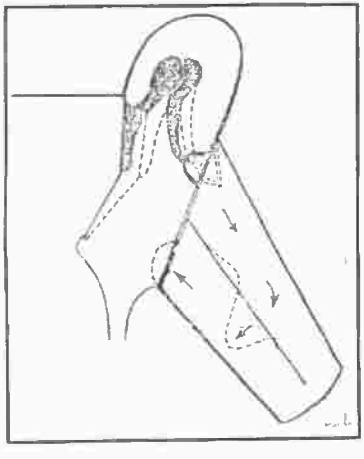


(شكل ١٠)
تركيب الأذن الداخلية



(شكل ١١) تركيب الأذن البشرية : الأذن الخارجية ثم الوسطى فالداخلية (القوقعة السمعية).

الوسطى والداخلية، فإن هذه الاهتزازات للداخل والخارج تتخذ شكل تحرك المكبس فى أسطوانة ممتلئة بسائل مضغوط، ولما كانت سوائل الأذن الداخلية مضغوطة بإحكام، فإن هذه الاهتزازات الميكانيكية تنتقل فيها بسرعة، وهذا الاهتزاز المنتقل فى السائل يؤدى إلى حدوث احتكاك بينه وبين أهداب الخلايا العصبية فى عضو السمع الحسى المتواجد فى التيه الغشائى، والمسمى عضو كورتى **Organ of Corti**، فتقوم تلك الخلايا بتحويل هذا الاحتكاك إلى نبضات كهربية، تنتقل عن طريق عصب السمع إلى داخل المخ، وهناك تنتقل بين محطات مختلفة حتى تصل فى النهاية لمركز السمع الواقع على جانب المخ فى منطقة تسمى الفص الصدغى، وهناك تتم كل العمليات العصبية المتعلقة بفك وتحليل وربط إشارات تلك الشفرة الكهربية وتحويلها فى الوعى إلى أصوات ذات دلالة ومعنى، وكل هذه العمليات المعقدة لا تستغرق إلا أجزاء محدودة من الثانية، والأذن البشرية جهاز دقيق جدًا، يلتقط الكثير جدًا من طاقة الصوت المحيطة بالإنسان، فهو يلتقط الموجات بين ترددى ٢٠ إلى ٢٠,٠٠٠ هرتز، كما أنها تعد أقوى حواس الجسم، ذلك أن أقل مستوى شدة للصوت الذى تلتقطه هو صفر ديسى بل بينما أقوى صوت تستطيع تحمله يبلغ ١٤٠ ديسى بل، أى أن الفرق بين أقل وأقوى شدة صوت تلتقطه الأذن يبلغ ١٠٠ مليون مليون ضعف. (شكل ١٢).



(شكل ١٢) هكذا تهز موجات الصوت غشاء الطبلة وعظيمات الأذن الوسطى، مما يسبب تحرك السوائل المضغوطة فى الأذن الداخلية، مما يذبذب الخلايا العصبية لعضو كورتى، وتتحول الذبذبات إلى نبضات كهربية ينقلها عصب السمع للمخ.

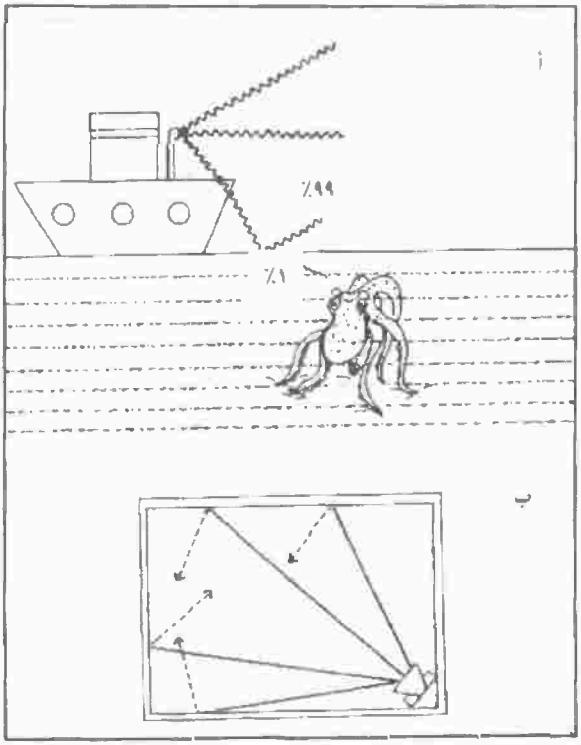
وهنا ردد الأولاد معًا: سبحان الله العظيم !

ورد الأب: حقًا وصدقًا، عمومًا تكفى هذه الجرعة الدسمة اليوم، وبقى أن نجتمع فى الغد لأجيب على تساؤلاتكم. وشكر الأولاد الأب وانصرفوا على أمل لقاء متجدد.

وفى اليوم التالى، اجتمع الشقيقان والأصدقاء فى الموعد المحدد، ودخل عليهم الأب وحياهم. ولاحظ ملامح التحفز والترقب على الوجوه الصغيرة فأدرك أن عليه أن يواجه قدرًا من الأسئلة والاستفسارات الذكية كما تعود من قبل، قال الأب: اليوم أنتم مديروا اللقاء ومسيروه، فمن يبدأ؟. ثبت يحيى إطار نظارته الطبية وبادر قائلاً: بعد إذن الجميع سأبدأ أنا أول الأسئلة.. لقد ذكرت يا والدى أن الأذن الوسطى تحتوى على ثلاثة عظمات، تهتز أمام موجات الصوت، واحدة تلو الأخرى ، لتنتقل ذبذبات الصوت من الطبلة للأذن الداخلية، لماذا تخير الله هذا التركيب المعقد حيث أن عظمة واحدة تمتد من الطبلة للأذن الداخلية قد تؤدى المهمة ؟

أجاب الوالد: سؤال ذكى يا يحيى. فى الواقع أن تركيب الأذن الوسطى له أشكال متعددة فى الكائنات المختلفة. لكن هذا التركيب الثلاثى العظمات فى الأذن البشرية هو قمة الإبداع الهندسى ويتفوق على حالة وجود عظمة واحدة أو بدون عظام على الإطلاق للأسباب التالية: أولاً فإن هذا التنظيم العظمى يكون رافعة. وقد سبق لكم أن درستم قوانين الروافع فى الفيزياء، وتلك الرافعة العظمية تزيد من قوة تذبذب الموجات الصوتية بمقدار ١.٣ مرة، وهذا بالإضافة لأن الصوت القادم من الهواء الخارجى يتم استقباله على غشاء الطبلة ثم يتم تركيزه على مساحة صغيرة جدًا عند سوائل الأذن الداخلية فى الشباك البيضاوى الذى يبلغ حجمه ١/ ١٤ من مساحة الطبلة، وهذا يزيد من قوة ضغط ذبذبات الصوت على سوائل الأذن الداخلية بنفس النسبة. والنتيجة النهائية أو المحصلة لهاتين الظاهرتين هى زيادة الضغط الذى تحدثه موجة لصوت بمقدار ١٨ مرة، ليس هذا فقط بل أن هناك وظيفة أهم يقوم بها هذا

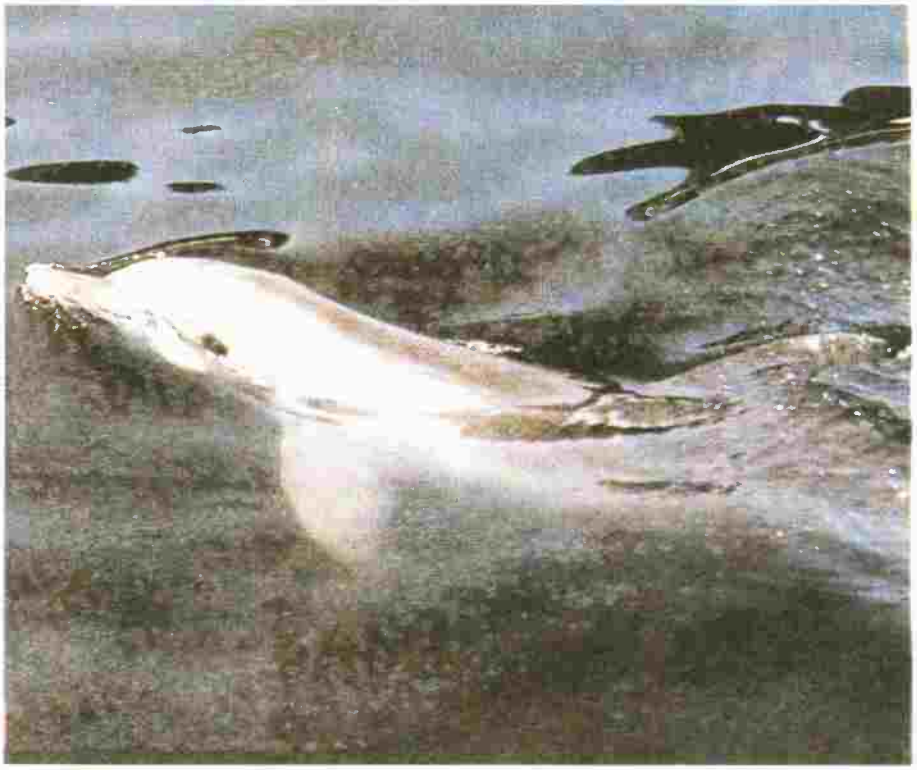
التركيب العظمى، فيجب أن تعرفوا أن لكل وسط ناقل للصوت قدر من المقاومة تحاول إعاقة تقدمه وانتقاله. وأنه عند مرور الصوت بين وسطين مختلفين مثل مروره من الهواء لماء البحر مثلاً، فإن أكثر من ٩٩٪ من موجات الصوت ترتد وتنعكس ولا تمر من الهواء للماء وهذا يحدث نتيجة لاختلاف مقاومة كل من الوسطين لمرور الصوت (شكل ١٣)، ولما كان الوسط الذى ينتقل فيه الصوت فى بيئتنا هو الهواء، ولما كانت الأذن الداخلية مكونة أساسًا من سوائل تشبه ماء البحر فى التركيب، لذا فإن غالبية موجات الصوت كانت سترتد وتضيع بنفس الطريقة. لولا وجود هذا التركيب العبقرى للأذن الوسطى الذى يشجع على مرور أكبر كمية ممكنة من الصوت بين الوسطين المختلفين فى الأذن الوسطى والداخلية، وعلى هذا فالأذن الوسطى هى أساسًا جهاز لتقريب وملاءمة مقاومة الأوساط المختلفة لمرور الصوت.



(شكل ١٣) عند اصطدام موجات الصوت بالسطح الفاصل بين وسطين مختلفين ، فإن غالبيتها ينعكس ولا يمر خلال الوسط الثانى إلا قدر ضئيل جدا منها .

قالت عزة: وهل تستطيع الأذن البشرية أن تسمع كل الأصوات يا أبى؟

أجاب الوالد: الأذن البشرية تستطيع التقاط أصوات تمثل تردداتها معظم ما هو موجود فى الطبيعة حول الإنسان. لكن هناك أصوات ذات ترددات مرتفعة جدًا لا تلتقطها الأذن البشرية، وتلك الأصوات نسميها «موجات فوق صوتية»، ذلك لأن تردداتها تقع أعلى من الترددات الموجودة فى أصواتنا البشرية المتعارف عليها، وتلك الأصوات تستطيع آذان الكثير من الحيوانات التقاطها مثل الكلاب والوطاويط والدلافين وبعض الحشرات مثلاً. (شكل ١٤).



(شكل ١٤) تستطيع الدلافين إرسال واستقبال الموجات فوق الصوتية.

قال باسم (صديق يحيى): عرفنا يا عمى أهمية وظيفة السمع فى نشوء اللغة والكلام وبالتالى نقل المشاعر والمعلومات، ولكن هل هناك وظائف أخرى للأذن والسمع؟

أجاب الأب: تساؤل قيم يا باسم، فى الواقع أننى سبق وذكرت أن الجزء الخلفى من الأذن الداخلية هو عضو هام جدًا لحفظ التوازن فى الجسد، حيث أن به أعضاء عصبية تقوم بتعريف المخ فى كل لحظة بوضع الرأس بالنسبة للفراغ مما يساعد المخ فى التعرف على وضع الجسم وإصلاح أى خلل به، والطريف يا باسم أن العلماء وجدوا أن كائنًا مثل الوطواط يعتمد تمامًا فى حركته وصيده لفرائسه على حاسة السمع فقط حيث أنها كائنات عمياء تنشط فى الظلام، وتطلق بعض الموجات الصوتية من نوعية «الموجات فوق الصوتية»، وتلك عن اصطدامها بالعوائق أو الفرائس ترتد ثانية كالصدى، وتستقبلها أذن الوطواط وبذلك يعرف الوطواط كيف وأين يطير ويصطاد، وقد قام العلماء باستغلال تلك الظاهرة فى عمل أجهزة الرادار التى تحدد أماكن الطائرات فى الجو ليلاً، أو ترشد الغواصات فى أعماق البحار. ومن الحقائق الأكثر طرافة، أن علماء الحيوان اكتشفوا أن بعض الفراشات التى يعتمد عليها الوطواط فى غذائه، تطلق هى الأخرى موجات فوق الصوتية باتجاه الوطواط فتربكه وتضلله. (شكل ١٥).

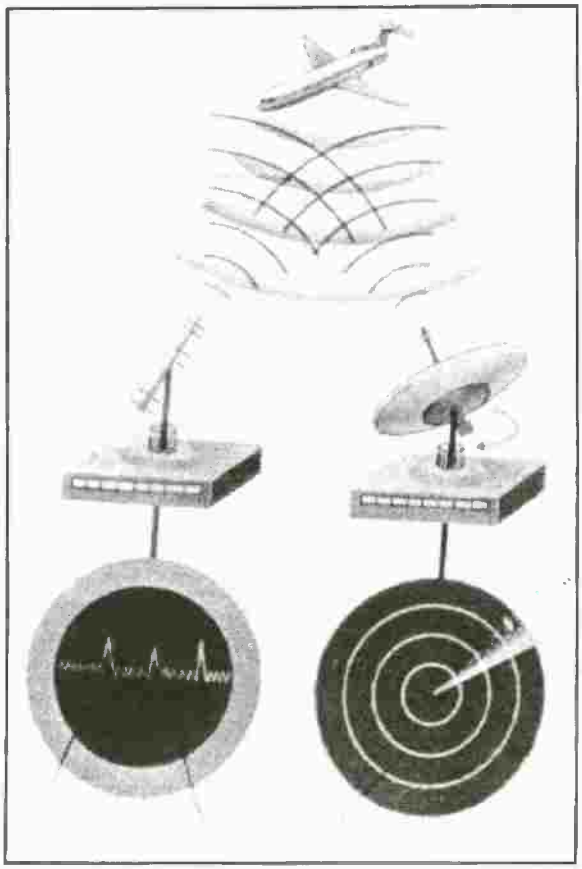
وهنا ضحكت عَزّة قائلة: لا تنسى يا أبى أنه لولا الأذن ما استطعت أن أعلق القرط الجميل الذى أهديته لى فى العيد.

وضحك الأب قائلاً: ولا تنسوا كذلك، أن عقابى المفضل لمن يخطئ خطأ فادحًا هو شد الأذن.

واستغرق الجميع فى الضحك.

(شكل ١٥)

تقوم فكرة الرادار على نفس الأسلوب الذى يتبعه الوطواط فى التوجه الحركى، عن طريق ارسال موجات معينة تنعكس على أجسام العوائق، ثم ترتد ثانية ويتم استقبالها على جهاز خاص يوضح مكان الجسم المعترض.



المراجع

References:

(1) Scott Brown's Otolaryngology, Fourth Edition vol. 2, The Ear, 1979.

(2) Scott Brown's Otolaryngology, Fifth Edition vol. b2, 3, 1987.

(3) Synopsis of Otolaryngology, Third Edition 1978.

(4) Handbook of Audiological Techniques Deborah Ballantyne, First Edition, 1990.

(٥) المعجم الطبى الموجز من مجلس وزراء الصحة العرب - اتحاد الأطباء العرب الطبعة الثالثة ١٩٨٣ - ميدليفانت - سويسرا.

رقم الإيداع	١٩٩٩/١٠٥٢٩
الترقيم الدولى	ISBN 977-02-5866-0

٧/٩٩/٤٣

طبع بمطابع دار المعارف (ج .م . ع .)