المقتطف

الجزء الرابع من المجلد التاسع والثمانين

١ نوفمبر سنة ١٩٣٦ — ١٦ شعبان سنه ١٣٥٥

عجائب الصوت

بين الخفوت والارتفاع — مباحث جديدة
جعلت من البحث القديم علماً فنيًّا

علم الصوت قديم يرتدُّ الى عهد اليونان الزاهر . ولكن هندسة الاصوات حديثة لانها وليدة عصر التلفون . ففي العهد الاخير الذي ارتقى فيه فن الاذاعة اللاسلكية والصور المتحركة الناطقة كشف العلماء عن حقائق واساليب جديدة خاصة بالصوت وطبيعته ، وجددوا ما كان من القواعد القديمة مبنيًّا على الحزر ، حتى ليصحُّ ان يقال بان علم الصوت من أحدث العلوم عهداً وأصغرها سنًّا . فبعض المكتشفات الحديثة قلب بعض ما كان معروفاً من قديم الزمان رأساً على عقب . وقد شرع علماء الطبيعة يستعملون امواج الصوت في التفرد الى اسرار المادة الغازية وتصرُّف دقائقها ، وعمد المهندسون الى الاستناد الى هذه الحقائق الجديدة في صنع الآلات الموسيقية حتى تكون أضبط وأدقَّ مما كانت قبلاً ، وفي تشييد ابنية المحاضرات والموسيقى حتى يكون السماع فيها على أتمّ ما يمكن ان يكون

كثيرة هي الادوات الجديدة التي يعتمد عليها في علم الصوت وتطبيقه الحديث . ولكنَّ في مقدمتها أداتين: اولاهما الميكروفون وثانيتهما الانبوب الحراري المفرَّغ

فالميكروفون هو الاذن الكهربائية التي تلتقط امواج الصوت وتحوّلها الى امواج مقابلة من الكهربائية . وهذا التحويل يمكننا من اخضاعها لاغراضنا في النقل والالتقاط

اما الانبوب المفرَّغ فعجيبة من العجائب على ما فيه من بساطة وسهولة في التركيب . واذا حاول

الكاتب ان يعدّد ما تُرِدُ وفوائدهُ ملأ بتعديدها صفحة كبيرة . وانما يمكن ان يقال بوجه عام ان الانبوب المفرغ مكّن العلماء والمستطلعين من صنع المضخم Amplifier الذي لا يستغنى عنهُ في المخابرات التلفونية البعيدة المدى وفي الاذاعة اللاسلكية والتقاط ما يذاع ، وفي الصور المتحركة الناطقة وغيرها عشرات من الابواب

وكلا الميكروفون والانبوب المفرغ ، جزآن اساسيان في الآلات الجديدة التي تستعمل في قياس أمواج الصوت ومعرفة خصائصها . فهذه الآلات أحلتنا محلّ الاذن المرصّعة للخطاء ، أدوات لا تخطىء ، في تبيُّن موجز من موجة ، او في التمييز بين نغم ونغم . وبها صحّح ما كان معروفاً على وجه من الخطإ قليل او كثير ، وكشف كثير مما كان محاطاً بسجف الجهل والخفاء

خذ مثلاً على ذلك ما قرأناهُ في كتب الطبيعة ، مما تواضع العلماء على التسليم به ، وهو أن الخواص الثلاث التي يتصف بها النغم الموسيقي ، يرتدُّ كلٌّ منها الى صفة معيّنة في طبيعة موجة الصوت . فارتفاع النغم Pitch يرتدُّ الى توالي الاهتزازات الصوتية اي الى قصر أمواج الصوت او طولها . وضخامة النغم Loudness ترتدُّ الى سعة الموجة . ورنّة النغم Timbre ترتدُّ الى شكلها الخاص

الاّ ان البحث الجديد في الصوت ، وهو بحثٌ قائمٌ على القياس والتجربة المحكمة ، أثبت ان ما تقدَّم ليس صحيحاً على اطلاق القول . فقد أثبت هارفي فلتشر احد العلماء الباحثين في شركة بل التلفونية الاميركية ، ان تغييراً يقع في احد العوامل التي تقدَّم ذكرها ، قد يؤثّر في خواص النغم الموسيقي جميعاً . فالارتفاع Pitch قد يتغير بتغيير يقع في سعة الموجة او شكلها ، مع ان المعروف بحسب ما تعلمنا في كتب الطبيعة من عشرين سنة ، ان ارتفاع النغم لا صلة لهُ الا بطول الموجة أو قصرها . كذلك ضخامة الصوت قد تختلف باختلاف يقع في قصر الموجة او طولها ، مع اننا تعلمنا ان ضخامة النغم لا صلة لها الاّ بسعة الموجة دون غيرها من العوامل

هذه الحقائق ، ظهرت للوجود في السنوات الاخيرة ، اي من سنة ١٩٣٠ وما بعدها ، ومع ان هذا البحث لم يتمّ بعد — وأي بحث علمي يقف عند حدّ من التمام — الاّ ان فيه من المغزى للمشتغلين بالموسيقى ما يكفينا التنويه به . فمع أن الموسيقى بلغت في الماضي أعلى ذرى الابداع ، ولكن من يدرينا ، ان مستقبلها لا يكون حافلاً بأمجاد اعظم من امجاد الماضي ، عند ما تتضح هذه الحقائق الجديدة وتملكها البشرية في سمط الفن الموسيقي العظيم !

***

ليست الاصوات التي نسمعها الاّ جانباً يسيراً من الاصوات الكثيرة في الطبيعة . والواقع ان الامواج الصوتية الصامتة ، اي التي تطرق آذاننا ولكن آذاننا لا تشعر بها ، أكثر كثيراً من الامواج التي يتألف منها كلامنا وغناؤنا وموسيقانا وضوضاؤنا . وبعض الاصوات لا يسمع لان

عدد أمواجه في الثانية أكثر مما يستطيع عصب السمع ان يتأثر به فهي تشبه من هذا القبيل امواج الاشعة التي فوق البنفسجي . فان سرعة توالبها في الثانية عظيمة جداً حتى ان العين البشرية لا تشعر بها . ولا نستطيع ان نتبيّن . هذه الامواج . سواء أكانت امواج صوت ، أم امواج ضوء ، الا بآلات دقيقة الاحساس اخترعها الانسان لتكون عوناً لحواسّه القاصرة

وقد ظنّ الانسان من قديم الزمان ان هناك امواجاً صوتية لا يسمعها . ولعلّه كان يلتفت الى أحد العصافير تغرّد فيصغي الى تغريده ، ثم يلاحظ أن ارتفاع النغم يزداد رويداً رويداً الى ان يعجز عن سمعه ، ولكن منقار الطائر ما يزال مفترحاً . فكأنه لا يزال يغني ، ولكن امواج غنائه لا تشعر بها الاذن . ويجاري بعض العصافير في ذلك بعض الجداجد (صرّار الليل)

وقد عني المستر جورج بيرس أحد علماء جامعة هارفرد من عهد قريب بنصب شرك ، يلتقط به هذه الاصوات المرتفعة النغم التي لا تحسّها اذن الانسان . واستخدم لذلك بلورات بعض الاملاح التي تتذبذب تذبذباً سريعاً ، استجابةً للاصوات التي توجه اليها ، ثم هي تتصل من ناحية أخرى بدورة كهربائية ، فيمكن تحويل ذبذباتها الى ارتفاع وانخفاض في تيار تلفوني

فوضع المستر بيرس وأعوانه بلورة من ملح روشل في قرن شكله قطع مخروطي ، وجعلوا هذا القرن ، الطرف الملتقط لامواج الصوت في جهاز كهربائي خاص بذلك . وقد بلغ من دقة احساس هذا الجهاز ان اصحابه استطاعوا ان يلتقطوا به صوت جدجد وهو على مائتي ذراع . فعندما يقع صوت الجدجد على القرن ، تهتزّ البلورة التي فيه اي تتذبذب وفقاً لذبذبة الامواج في الصوت الواقع عليها . فتؤثر ذبذبتها في الدورة الكهربائية فتخفض قوة التيار وترفعها

ولكن كيف السبيل الى تبين هذه الامواج التي لا تشعر بها الاذن لسرعة توالبها . قال المستر بيرس اذا خلطنا هذه الامواج بأمواج قيست سرعة توالبها ، ثم وجهنا الخليط الى جهاز فيه أنبوب مفرّغ ، فلا بدّ ان توافق بعض النبضات في سلسلتي الامواج ، فتحدث هذه النبضات صوتاً مسموعاً في مضخم الصوت . فاذا حللت ذبذبة هذا الصوت المسموع ، وعمل حساب بتحليلها لذبذبة الامواج التي قيست سرعة توالبها ، أمكن حينئذ ان تعرف سرعة توالي الامواج في صوت الجدجد ، الذي لا تسمعه الاذن ، ولكن تلتقطه البلورة

فعندما جرّبت هذه الطريقة ، بجدجد اسمر اللون — اسمه العلمي نيمويوس فاشياتوس Nemobius Fasciatus — أسفرت تجربتها عن نجاح ، اذ تبين ان سرعة الامواج العالية في غناء هذا الجدجد ، تبلغ ٨٠٠٠ موجة في الثانية ، ولكنه يخرج اصواتاً أخرى ، سرعة الامواج في بعضها ١٦٠٠٠ موجة في الثانية و ٢٤٠٠٠ موجة في الثانية و ٣٢٠٠٠ الف موجة في الثانية . وقد أثبت بعد ذلك بتجارب اخرى ان في الطبيعة اصواتاً تبلغ سرعة امواجها ٤٠٠٠٠ موجة في الثانية

ومعظم هذه الاصوات خارج عن نطاق الاذن البشرية . فالآذان التي تستطيع ان تسمع اصواتاً يبلغ عدد امواجها ... موجة في الثانية قادرة . والغالب ان يكون اعلى ما تسمعه الاذن اصواتاً لا يزيد عدد امواجها عن ... موجة في الثانية

ولا يخفى انه كلما زاد عدد الامواج في الثانية قصر طول الامواج . وليس من يشك الآن في ان الجو حافل باصوات امواجها قصيرة سريعة اكثر ، وليس مصدرها اصوات الجداجد والحشرات فقط بل كثير مما يحدثه الاحتكاك في الطبيعة كاحتكاك الايدي ، واحتكاك عيدان الثقاب بعلب الكبريت ، واهتزاز اوراق الاشجار عندما يهب عليها النسيم اللطيف . فجميع هذه الافعال تحدث علاوة على الاصوات المسموعة اصواتاً لا تسمعها الاذن البشرية لسرعة امواجها وقصرها ، اي لشدة ارتفاعها . فمن الاصوات التي تخرج من اصابعنا صوت يبلغ عدد امواجه في الثانية ٣٠ الفاً ويلتقط بجهاز من هذه الاجهزة الدقيقة على بعد ٣٠ قدماً

ثم هناك طائفة من الاصوات التي تستطيع الاذن ان تسمعها ولكنها لا تسمعها ، لان اصواتاً اخرى تحجبها . فخفقان القلب صوت مسموع ، في استطاعة سماعة او سماع بعضه على الاقل لولا اصوات اخرى اقوى منه تستبد بسمعنا . فمرور مركبة من مركبات النقل الضخمة في الشارع خارج البيت تحجب بعض الانغام اللطيفة في قطعة موسيقية يحاول الانسان ان يصغي اليها . فاذا حجبت الاصوات القوية ، استطاع الانسان ان يتبين الاصوات اللطيفة . ولو كان في الامكان بناء حجرة تحجب عنها جميع الاصوات خارجها لكان في امكان الانسان ان يسمع الاصوات التي يحدثها نبض والطلاق الدم في عروقه وحركة رئتيه

اما الاصوات الخافتة فلا يمكن تبينها الا بعزلها عن غيرها من الاصوات المختلطة بها . ولدل ابلغ ما يروى في هذا الصدد حديث تجربة قام بها الدكتور فري Free ومساعده المستر جنصن في جامعة نيويورك . فانهما اخذا تجاناً ووضعا في قمرة ميكروفوناً دقيق الاحساس ووصلاه بمضخم للصوت وأكملا الدائرة الكهربائية بمذياع . ثم وضعا في الفنجان حفنة من حبوب الحنطة فسمعا اصواتاً صاخبة خارجة من المذياع ، حتى لقد بلغ من شدتها ان طلبة الفصول المختلفة وأساتذتها اعترضوا على هذه الضوضاء . فما كان هذا الصوت الصاخب ؟ وما مصدره ؟ بحث الدكتور فري في حبوب الحنطة فوجد حبوباً فيها ثقوب صغيرة . فشق هذه الحبوب ووجد في كل منها دودة صغيرة . فتبين له ان هذه الاصوات الصاخبة مصدرها حركة الديدان وتمسحها داخل حبوب الحنطة المثقوبة . فالتقط الميكروفون هذه الاصوات الخافتة وعزلها عن غيرها من الاصوات ، ثم ضخمت هذه الامواج بمضخم الصوت ، ثم اعيدت اصواتاً للديدان في المذياع

فهذا الجهاز كان بمثابة مجهر (ميكروسكوب) للصوت . والجزء الدقيق فيه كان الجهاز المضخم

لانهُ كان عليه ان يضخم الامواج الكهربائية التي تحدثها هذه الاصوات الخافتة ، من دون أن يضخم تضخيماً عظيماً صوت حركة الكهارب المتطلقة في الانبوب المفرغ

وقد ضخم صوت الدودة داخل حبة القمح ، مليون مليون ضعف فكان ذلك كافياً لجعله اعلى من صوت الاستاذ . فقال احد العلماء الاميركيين ، انهُ لو ضخمت همسة في أحد شوارع نيويورك ، هذا التضخيم لأمكن سماعها في سان فرنسسكو على بعد ثلاثة آلاف ميل !

***

ولا بدَّ قبل التقدم في البحث من تفسير الوحدة التي يستعملها العلماء في قياس ارتفاع الصوت وهم يدعونها « دسيبل » Decibel . واصلها لفظة « بل » نسبةً الى الكسندر غراهام بل مخترع التلفون . وقد تواضع عليها مهندسو التلفون اولاً لقياس ما تصاب به الاشارات التلفونية من الخفوت بعدها عن مركز صدورها . ولكن علماء الصوت وجدوا ان هذه الوحدة كبيرة جداً في قياس الاصوات الخافتة والتمييز بينها فقسموها الى عشر وحدات واطلقوا على كلٍّ منها « دسيبل » اي عُشْر بل . ويمكن ان يقال بوجهٍ عام ان وحدة «الدسيبل» تمثل اقل فرق بين صوتٍ وصوتٍ تستطيع الاذن البشرية ان تتبيَّنهُ . اما في معامل البحث فتعريفها جزء من مليون جزء من الواط . ولعلَّ التمثيل افضل طريقة لبيان ذلك

فالصوت الذي يحدثهُ التنفس العاديُّ السويُّ اذا قيس على بُعد قدم واحدة من المتنفس كان ١٠ دسيبل . وحفيف الورق في نسيم لطيف ٢٠ دسيبل . والصوت الذي يحدثهُ المطالع عندما يقلب صفحة كتاب يطالعهُ ٣٠ دسيبل . وصوت الحديث العادي في حجرة عادية ٦٥ دسيبل . وصوت البيانو في أثناء التمرين ٧٥ دسيبل . وصوت مرور سيارة من سيارات النقل الكبيرة ٨٠ دسيبل . وزئير الاسد ٩٥ دسيبل . ومرور طائرة على بعد ١٨ قدماً من جهاز تدوين الصوت ١٢٣ دسيبل . فاذا زاد قياس الصوت على ١٣٠ دسيبل كانت الاستجابة العصبية في الاذن والدماغ غير سويَّة وكان الصوت مؤلماً تماماً

***

بعد ما تعزل الاصوات المختلفة بالأجهزة الكهربية الحديثة وتحلل وتقاس يصبح في ستطاع المهندس أن يستخدمها لقضاء بعض الاغراض الصناعية أو أن يصف الوسيلة لاجتنابها . وهذا التقدم في فهم خصائص الصوت ، مكَّن المهندسين من جعل المروحة الكهربائية والطائرة والساعة وغيرها من الآلات ، أخفت صوتاً الآن مما كانت قبل بضع سنوات . وفي أحد المصانع الاميركية جهاز خاص دقيق الاحساس بالصوت يستعمل لتبيُّن اي صوت غريب في أثناء دوران الاسطوانات الضخمة في آلة كبيرة فيكون تبيُّنه بمثابة منبِّه أو إنذار للمهندس المشرف على العمل

وثمة أهم وجوه التطبيق العملي لعلم الصوت الحديث ، يبرز على الأخص في بناء أبهاء المحاضرات والموسيقى حتى تكون جدرانها معدة لأن ترد امواج الصوت ، فتحدث في ارتدادها اختلاطاً وتشويشاً في كلام المحاضر او غناء المغني او عزف العازف . وقد وضعت أركان هذا البحث من التطبيق العملي من نحو اربعين سنة . ذلك ان الدكتور وس ساين Sabine كان استاذاً للرياضة والفلسفة الطبيعية في جامعة هارفرد . وكانت هذه الجامعة قد بنت داراً للفن فيها هول كبير للمحاضرات وما كاد اول محاضر يشرع بمحاضرته الاولى في ذلك الهول حتى وجد أن صدى صوته يشوش كلامه فلا يفهم . فدعا الرئيس ايليوت ، الاستاذ ساين وعهد اليه في حل المشكلة

أهم العوامل التي تؤثر في صدى الاصوات داخل حجرة من الحجر عاملان : أولهما شكل الحجرة وحجمها . وثانيهما المواد التي بنيت بها الجدران وطليت وصنع منها الأثاث . فصرف الدكتور ساين عن الاهتمام بالعامل الاول لانهُ لم يكن في وسعه ان يعيد بناء الدار ولا الحجرة . وحصر همهُ في العامل الثاني ، فشرع في تجربة سلسلة من تجارب أفضت الى تحقيق غرضه وكشفت عن حقائق جديدة في هذا الميدان من البحث

عند ما تنطلق امواج صوتية في فضاء حجرة من الحجر ، يكون مصيرها احد ثلاثة ، إما أن ترُدها الجدران والاجسام الأخرى التي في الحجرة فيكون الصدى . أو أن تنقلها فتسمع في حجرة مجاورة . أو أن تمتص طاقتها فلا تُرَدُّ ولا تنتقل . فوجد الدكتور ساين بالبحث ان سطوح الجدران والسقف والارض والمقاعد في هذه الحجرة لا تمتص الا جانباً يسيراً من طاقة امواج الصوت ، ولا تنقل شيئاً منها ، وانها كانت بوجه عام عواكس تردُّ الامواج الى فضاء الحجرة . فعند ما يتلفظ الخطيب بلفظٍ ما ، يبقى صدى لفظهِ يسمع مشوشاً مدى خمس ثوان لان امواجهُ كانت تنعكس عن سطوح يختلف بعدها عن مصدر اللفظ وهو فم المتكلم . ومن البديهي ان اختلاط الامواج الاصلية بالامواج المرتدة من السطوح المختلفة ، جعل سمع اللفظ واضحاً من الامور المتعذرة . ويزيد في التشويش ان الخطيب لا يكتفي بنطق كلمة واحدة والوقوف عندها ، بل ان كلماتهِ تتلاحق ، فيختلط اللاحق بالسابق ويصبح الكلام الشائع في جوّ الحجرة فوضى وضوضاء

فاتخذ الدكتور ساين « أرغناً » ليكون مصدراً لصوت ثابت الارتفاع والضخامة ، وأقام مقياساً دقيقاً لقياس مدى بقاء الصوت في جوّ الحجرة . فوجد انهُ اذا أخرج الارغن الصوت وأوقف فجأة في الحجرة الخالية من اي شيء الا أثاثها العادي ، ظل ٥٫٦ من الثانية قبل ان يخفت الى جزء من مليون جزء من قوته الاصلية . وهذه الدرجة من الخفوت هي الدرجة التي يسمع عندها الصوت . فأطلق على هذه الفترة (٥٫٦ الثانية) « فترة الصدى »

هنا وجّه ساين الى نفسهِ السؤال التالي : هل يمكن تقصير هذه الفترة بتنطية بعض الاجسام

التي في الحجرة عادة لينة ؟ فافترض من مسرح مجاور وسائد المقاعد وزعت على بعض المقاعد في الحجرة ، ثم أعاد التجربة فوجد ان الفترة قصرت الى ٣٫٣ ثانية ، فزاد عدد المقاعد المغطاة بالوسائد فنقصت الفترة الى ٤٫٩ الثانية ، وهكذا في هذه الطريق الى ان غطى ٤٣٦ مقعداً بالوسائد فنقصت الفترة الى ثانيتين . فعرف انهُ سائر على الطريق القويم

لم يكتف بتغطية المقاعد بالوسائد بل فرش بها الارض بين المقاعد والممر ، وغطى بها الجدار الخلفي من الارض الى السقف ، فنقصت الفترة الى ١٫١ الثانية

كان الدكتور ساين يجرّب معظم هذه التجارب في سكون الليل ، ليكون القياس دقيقاً . وجرّب موادّ مختلفة لتغطية الجدران والارض والسقف والمقاعد ، فاستغرقت تجاربهُ سنتين قبل اتمامها وكتب تقريرهُ قال فيه ان الحجرة لم تبلغ حدّ الكمال ولكنها اصبحت صالحة للاستعمال . ولا تزال تستعمل الى الآن في اغراض مختلفة

وقد جاء بعد ساين علماء مختلفون استعملوا أجهزة أدق من الاجهزة التي استعملها ، فزادوا البحث دقة وتفصيلاً ، ولكنهم في الغالب يتواعلى القواعد التي وضعها . ان «فترة الصدى» في عرفهم الآن ، مقياس لصلاح حجرة من الحجر من الناحية الصوتية . ولما كانت افضل الاحوال لسماع تختلف باختلاف الحجر شكلاً وحجماً ، لذلك اصبح مهندس الصوت عوناً لا يستغني عنهُ المهندس المعماري وفي كثير من الاحوال لا يدعى مهندس للصوت الاّ بعد انجاز البناء فيستطيع بفنهِ من حلّ المشكلة . ولكن الخير كلّ الخير ، في بناء دور تستعمل ابهاؤها للخطب والمحاضرات والغناء والعزف ، أن يدعى مهندس الصوت للاشتراك في تصميمها وبنائها قبل ذلك

اما المواد التي يعتمد عليها الآن في هذا الفن ، غير الوسائد والستائر التي استعملت من اربعين سنة او ثلاثين . بل قد نشأت صناعة كبيرة لصنع المواد التي تمتص الصوت . وهي في الغالب اما ذات مسام او ليّنة تعنو للضغط اللطيف ، او تتصف بالصفتين معاً . وقد يستعمل لوح صلب من الفولاذ مثقوب ثقوباً عديدة ويوضع تحتهُ غطاء من المواد اللينة ذات المسام . وفضل هذا الاستعمال ان امواج الصوت عند اصطدامها باللوح الصلب تنفذ من ثقوبه الى ما وراءها فتمتصها مادة الغطاء الذي تحتهُ . وقد تفنن مهندسو الصوت في تطبيق هذه المبادىء واستعمال هذه المواد على وجوه مختلفة وفقاً للحالة الخاصة التي يعالجونها . ومن اغرب ما صنعوا الواحاً تمتص الاصوات المشوشة دون غيرها ، فكأنها تفصل من صوت الخطيب او غناء المغني ، النبرات المشوشة في الخطابة او الغناء ، فيبدو الصوت اصفى مما هو حقيقة

***

ظلّ العلماء يعتقدون أن الصوت ظاهرة سطحية الى سنة ١٩٣٠ عندما تبين للاستاذ فرن نودسن

سطوحها ان الخواص الصوتية في حجرة من الحجر تختلف باختلاف حالة الهواء . فاذا هبَّ من المحيط الهادي وملأ الحجرة هواء رطباً قلَّلت بعض النبات المرتفعة تتردد فيها اربع ثوان او خمساً . واذا هبَّ من الصحراء وملأ الحجرة هواء جافاً لم تتردد النبات نفسها في تلك الحجرة الا ثانيتين او ثلاث ثوانٍ . فالحجرة وسطوحها والنبات هي هي . لم يتغيَّر الا الهواء في الغرفة ، فكيف يحدث الهواء هذا الفرق في « فترة الصدى » ؟

قضى الاستاذ نودسن بعد ذلك مدة وهو يسعى الى ايضاح هذا المعنى فظنَّ اولاً ان التغير في حالة الهواء يحدث تغيراً في سطوح الغرفة ومقدرتها على امتصاص طاقة الامواج أو عكسها . فجرَّب تجارب مختلفة أثبتت له خطأ هذا الظن . وفي خلال رحلة رحلها الى أوربا تحدَّث مع بعض علماء الطبيعة في هذا الموضوع . فقال له احد العلماء الالمان ، يطلي الحجرة بألواح من القاشاني المستعمل في تبطين غرف الحمام فتزول هذه الظاهرة التي تحيِّرك

ولكن الاستاذ نودسن لم يرض ان يثق على تبطين حجرة كبيرة كما تقدم ، ثم عند الامتحان قد يصحُّ ما قالهُ العالم الالماني وقد لا يصحُّ . فعمد الى تجربة ذلك في حجرة صغيرة . فثبت لهُ ان الاختلاف في امتصاص الصوت في هذه الحالة سببهُ اختلاف قدرة الهواء على امتصاصها ، وان الهواء الجاف أقدر على امتصاص بعض الأصوات حالة ان الهواء الرطب أقل امتصاصاً وأكثر إيصالاً لها . فكان هذا الاكتشاف باعثاً على العجب لان لورد رالي وصحبهُ من واضعي القواعد النظرية لعلم الصوت في القرن التاسع عشر ، قالوا ان الهواء لا دخل لهُ على الاطلاق في ايصال الصوت

ثم ان تجارب نودسن وصحبهِ قد أثبتت ان الحرارة علاوة على الرطوبة تؤثر في امتصاص الصوت . خذ الحرارة اولاً . ان الهواء الذي حرارتهُ تحت الصفر يكاد يكون « شفافاً » للصوت اذا صحَّ ان تنقل صفة الشفوف من الضوء الى الصوت . فكلما زادت حرارتهُ زادت مقدرتهُ على امتصاص امواج الصوت ، حتى اذا بلغنا درجات عالية من الحرارة ، رأينا ان بعض النبات المرتفعة لا تستطيع ان تخترق الا ما تحاكتهُ بضع اقدام فقط من الهواء الساخن . فكأنهُ يقوم حجاباً كثيفاً دونها ، فلا تسمع اذا كان السامع يبعد عن مصدرها بضعة امتار

اما الرطوبة في الهواء وصلتها بامتصاص الصوت فحالتها عجب . فالهواء الجاف كلَّ الجفاف « شفاف » للصوت فاذا كانت رطوبتهُ النسبية من ١٠ الى ٢٠ كان من اكثف ما يكون اي ان مقدرتهُ على امتصاص الاصوات تكون على أعظمها . فاذا زادت الرطوبة عن ذلك قلَّت مقدرتهُ على امتصاص الاصوات . حتى اذا بلغت الرطوبة ٩٢ عادت مقدرتهُ على الامتصاص فبلغت اعظمها

ومما يطرب لهُ عقل الباحث انهُ يجد في هذه الظاهرة بعض التعليل على الاقل لظاهرات طبيعية عجز الباحثون عن تعليلها حتى الآن تعليلاً رائياً . فالمعروف بين روَّاد الاصقاع القطبية

ان حديث رجل قد يسمع أحياناً على بعد اربعة أميال ، وان نباح الكلاب قد يسمع على بعد خمسة عشر ميلاً . وقد علل هذا قبلاً بتوهم ان امواج الصوت تنعكس على سطح الامواج الساكنة بين سطح الجلد وطبقة من الهواء تعمل عمل المرآة . ولكن اكتشاف نودسن ان الهواء البارد المتوسط الرطوبة ، موصل جيد للصوت ، قد يعلل ذلك تعليلاً مقبولاً

ويفيد البحث ناحية جلية من التطبيق العملي . ذلك ان تردد امواج الصوت من خطيب او مغنٍّ او عازف ، في بهو كبير ، يتأثر بحالة الهواء اكثر من تأثره بطبيعة البرد التي تطلى بها الجدران والارض والسقف ويصنع منها الأثاث . ولنضرب على ذلك مثلاً بهو كبير للموسيقى حيث سرعة الامواج الغالبة تبلغ ١٠ آلاف في الثانية . فاذا كانت حرارة الهواء في ذلك البهو ٧٠ درجة بميزان فرنهيت وكانت درجة الرطوبة النسبية ١٨ كانت قدرته على امتصاص امواج الصوت كبيرة جداً حتى ان النغم يخفت بعد انقضاء $\frac{1}{3}$ الثانية على صدوره من الآلات الموسيقية ولو كانت الجدران والارض والسقف مغطاة بمواد تعكس امواج الصوت عكساً تاماً . فاذا أضيف الى امتصاص الهواء لامواج الصوت ، امتصاص الجمهور وما يرتديه من الملابس لها ، نقصت « فترة الصدى » الى أقل من نصف ثانية . ثم ان هذا الهواء الذي فرضنا وجوده في الغرفة أشدُّ جفافاً من الهواء العادي ، ولكن اذا علمنا ان رطوبته النسبية بلغت ٥٠ بدلاً من ١٨ فان فترة الصدى مع ذلك تظلُّ اقلَّ من ثانية — وهذه الفترة أقصر مما تحتاج اليه الموسيقى لاحداث التأثير الموسيقي المطلوب . واذن فلا بدَّ من السيطرة على حرارة الهواء ورطوبته ، علاوة على المواد التي تطلى بها الجدران والارض والسقف ، في بناء الابهاء الموسيقية المتسعة وما اليها

بعد ذلك عمد الاستاذ نودسن الى درس الغازات التي يتألف منها الهواء وقدرتها على امتصاص امواج الصوت . فوجد انهُ اذا اضاف قليلاً من الرطوبة الى الاكسجين التي كانت مقدرتهُ على امتصاص امواج الصوت اعظم من مقدرة مقدار مماثل من الهواء فيه نفس القدر من الرطوبة خمسة اضعاف . وكذلك أثبت ان اكسجين الهواء ومقدرتهُ على امتصاص امواج الصوت هما العامل الحاسم في الظاهرة التي سبق ذكرها . ولو لان هواءنا كان أكسجيناً صرفاً لا أثر فيه للنتروجين لكان من المتعذر علينا ان نسمع منادياً ينادينا عبر الشارع ولاسيما الحروف من الكلمات التي يقتضي اخراجها امواجاً سريعة التوالي ، لان الهواء يمتصها قبل ان تجتاز خمسين قدماً الى ستين . بل ان مباحث نودسن الاخيرة دلَّت على ان قدرة ثاني اكسيد الكربون على امتصاص أمواج الصوت أعظم من قدرة الأكسجين . فالحديث في جوٍّ خالص من ثاني اكسيد الكربون — اذا كان ممكناً من الناحية البيولوجية — يحتاج الى صاحب صوت قويٍّ لان الحروف المذكورة تتلاشى فيه قبل ان تبلغ بضع اقدام