«القسم الأول»

الفيزياء الأكوستيكية

الفصل الأول

ظاهرة الصوت، وأصوات الكلام[1]

إذا شددتَ وتراً من أوتار الكمان، أو أمررتَ من فوقه قوساً = وإذا طرقتَ شوكت رنانة أو طبلة = أو نفختَ في بوق أو فوهة زجاجة - فإنك حينئذ تُصدرِ صوتاً وتسمعهُ. ومردُّ هذا الانطباع السمعي إلى اهتزاز الوتر أو السطح أو عمود الهواء. وهذا الاهتزاز هو حركة تنتقل آثار دفعها إلى الوسط المحيط الذي هو - عادة - الهواء.

والاهتزازات التي تصل عبر الهواء لا تعني أن الهواء يتحرك في مجموعة؛ فالموجة الصوتية *sound wave* ليست ريحاً، كما أن الريح ليست ضرورية لانتشارها. إن الجسم الذي هو مصدر الصوت حين يهتز لا يُحدث إلا دفعاً لجزيئات من الهواء الحامل للصوت؛ هي تلك الجزيئات الملامسة [مباشرة] لهذا الجسم المهتز. وحين يندفع كل جُزَيْئ منها بهذه الطريقة يضغط أمامه على الجزيئات المجاورة له [مباشرة]، صانعاً بذلك أمامه ضغطاً *compression* ومخلفاً وراءه تخلخلاً *rarefaction*.

وتواصل الجزيئات المجاورة ضغطها؛ فيتقدم الضغط في الاتجاه الذي يسير فيه الصوت. وسرعان ما تنجذب هذه الجزيئات من الخلف في اتجاه التخلخل الذي صنعته هي وراءها نتيجة لتحركها. غير أنها حين ترتد إلى الخلف تنحرف - بالفعل إلى حد ما - عن موضعها الأصلي بسبب القصور الذاتي *inertia*[2]. وإذا أتم الجسم الذي هو مصدر الصوت دورة أخرى من الاهتزاز تدافعت الجزيئات مرة أخرى في طريقها، وتكررت العملية كلها من جديد. ثم إن هذه العملية تستمر حتى يتوقف المصدر الأصلي للقوة - أي مصدر للصوت - عن الحركة حين تنفد طاقته أو تتوقف، وحينئذ يعود التوازن النسبي بعد تحركات وارتدادات بندولية أخرى[3].

وحيثما تصطدم اهتزازات الهواء بعائق ما يتبدد بعض طاقتها، فإذا كان العائق صلباً غير قابل لأن تخترقه القوة التي تصطدم به فإنه قد يعكس تلقائياً ذبذبات الهواء متأثراً بها تأثراً ضعيفاً أو غير متأثر بها على الإطلاق. وأما إذا كان العائق طيعاً وقابلاً للتحرك في سهولة فإنه حينئذ يبدأ بدوره في الاهتزاز تحت الضغط. وأغشية أجهزة الهاتف ومكبرات الصوت هي عوائق من هذا النوع الذي يتقبل موجات الهواء. وتتم ترجمة الطاقة التي تطرق هذه الأغشية - أو تحويلها - إلى تيارات كهربية. ومن ثم يقوم المستقبِل مرة أخرى بترجمتها إليكترونياً إلى موجات صوتية؛ ثم تنتقل هذه الموجات إلى الأذن، لتطرق الغشاء الذي هو جزء من جهاز السمع الإنساني.

وهي تفعل ذلك - بطبيعة الحال - مثل أي اهتزازات أخرى تصدر عن مصادرها الأصلية دون أن تمر من خلال وسط يحولها تحويلاً إليكترونياً. وهكذا - ومن خلال طبلة الأذن ومنظومة معقدة حساسة من وسائل التوصيل تستقر وراءها في الأذن الوسطى - يجري تحويل الذبذبات إلى حركات عصبية تُحمل من فورها إلى المخ، ويدركها السامع في صورة صوت.

والواقع أن أي جزيئ من جزيئات الهواء حين يتحرك تبعاً لتحرك مصدر الصوت لا يقطع المسافة كلها من مكانه الأصلي حتى يصل إلى طبلة الأذن. وإذا صُغنا هذه الحقيقة في عبارة أخرى قلنا: إن الوسط الناقل لا يتحرك بطول المسافة مع ما نسميه الموجة الصوتية. ويمكن مقارنة هذه الظاهرة بتقدم الموجات في الماء. غير أن موجات الهواء لا تشبه موجات الماء تمام الشبه؛ فالأولى موجات طولية *longtitudinal*، والأخرى موجات مستعرضة *transversal* مثل موجات الضوء. وفي الموجة الطولية يكون اتساع الذبذبة *amplitude* موازياً لاتجاه حركة الموجة، أما في الموجة المستعرضة فيكون على هيئة زوايا قائمة(٤).

وعلى الرغم من أن الموجات في السوائل تعطي انطباعاً يخيل للناظر

أنها تسير في اتجاه ما - فالحق أنه لا وجود لأي تيار يرتبط بحركتها على وجه اللزوم. إنك إذا وضعْت قطعة من الإسفنج في وسط موجات تبدأ انتشارها من مركز واحد في حوض من المياه الهادئة فإن اهتزازها لن يكون إلا إلى أعلى وإلى أسفل. إنها تتحرك بالفعل حركة دائرية عمودية، ولكنها لن تسير سيراً محسوساً في اتجاه انتشار الموْجات (ولو تخيلنا قطعة من الإسفنج طافية في الهواء فإنها حين تأخذ في التحرك بسبب الموجة الصوتية - التي هي موجة طولية - لن تهتز إلى أعلى وإلى أسفل ولكن اهتزازها سيكون إلى الأمام وإلى الخلف في اتجاه انتشار الصوت. لذلك يقال إن التيارات والموجات يعمل كل منهما - في الأصل - مستقلاً بعضها عن بعض؛ مثل الريح والصوت.

وليس من الضروري أن يكون الجسم الذي هو مصدر الصوت آلة تصدر نغمة موسيقية ذات درجة قابلة للقياس *measurable pitch*(٥). إن أي شيء يمكن حمله على الاهتزاز بِطَرْقِه أو بِحكِّه أو بأي وسيلة أخرى حتى يبدأ في التحرك جزئياً أو كلياً - يمكن أن يكون مصدراً للصوت. وبعض الآلات التي تُقْرع في الفرق الموسيقية قابلة للانضواء تحت هذا النوع؛ ذلك أنّ الغاية من استخدامها في الأساس هي أقرب إلى تنظيم الإيقاع منها إلى الإضافة للنغم، وتسمى مثل هذه الأصوات ضجة *noise*. وتمتاز الضجة من النغمة بعدم اشتمالها على درجة قابلة للقياس بالسلم الموسيقي *musical scale*، ولذلك لا تتمايز فيما بينها من الوجهة الموسيقية، بل إنها أحياناً تكون منفرة.

وليست كل الاهتزازات الحاصلة في الطبيعة قابلة قبولاً فعلياً لأن يدركها مخ الإنسان وأذنه؛ فربما تكون الخصائص الفيزيائية لهذه الاهتزازات سبباً في وقوع بعضها خارج حدود الإدراك البشري؛ سواءً من حيث العلو أو الدرجة.

إن ورقة واحدة من أوراق الشجر تسبب حين تتحرك اهتزازاً في الهواء بلا شك؛ ومن ثم فهي بحكم ماهيتها صوت. غير أن هذا الصوت ليس على

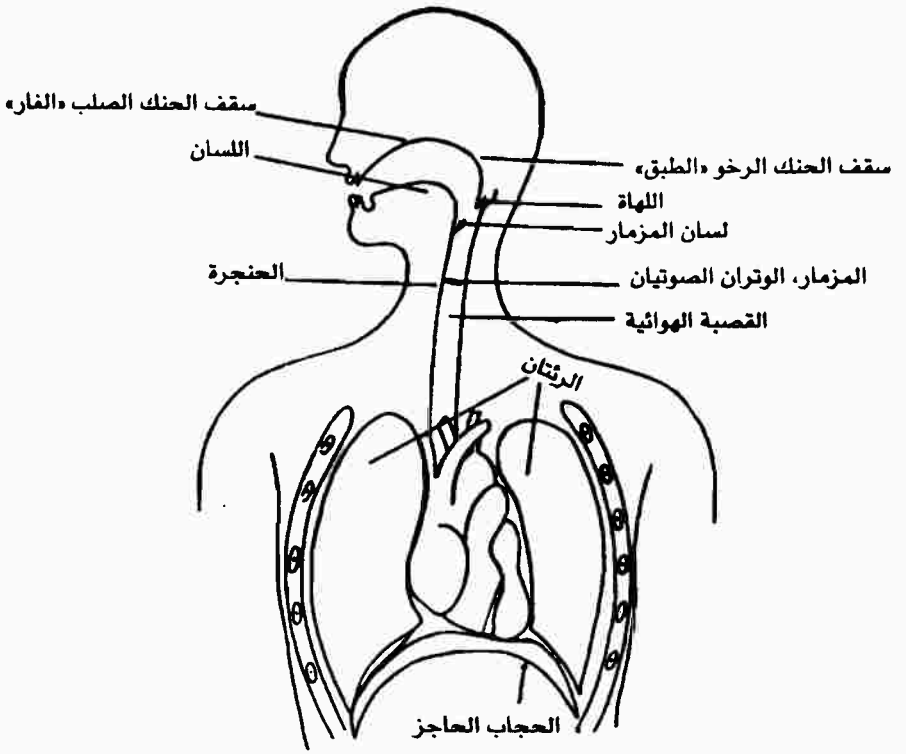
درجة كافية من العلو، كما أن تردده ليس مناسباً بحال لكي تدركه الأذن. كذلك لا يستطيع أحد أن يسمع صوت العشب وهو ينمو على الرغم من أن هذه الحركة تصدر لا محالة نوعاً من الضجة.

وربما كانت لأعضاء السمع عند غير البشر حدود مختلفة من حيث القدرة على إدراك الصوت؛ فبعض الحيوان معروف بأن له حسّاً سمعياً أفضل من الإنسان.

ويستطيع الكلب، من حيث درجة الصوت - أن يسمع «صفارة الكلاب» التي يطلقها سيده على حين تظل غير مسموعة من الناس بسبب درجتها العالية. ولكن إذا تذكرنا تنوع حدود السمع بين مختلف الأفراد والأعمار -فضلاً عن اختلافها بين الكائنات الأخرى من غير البشر - وجدنا أن تعريف الصوت بوصفه اهتزازاً أفضل من تعريفه تبعاً للإدراك.

وجهاز النطق عند الإنسان (شكل ١) آلة معقدة تنتج الأصوات بكلا نوعيها: النغمات والضجات. وسأصف باختصار أجزاء هذه الآلة ووظائفها.

الحجاب الحاجز *diaphragm*: نسيج عضلي لا يوجد إلا عند البشر وبعض الثدييات، ويفصل الصدر *thorax* عن البطن *abdomen*، وتساعد حركته الإيقاعية إلى أسفل وإلى أعلى في جعل الرئتين *lungs* تنكمشان وتتمددان؛ أي أنهما يضخان ويسحبان تيار الهواء الذي يحتاجه الجسم للتنفس. وخلال الزفير (والشهيق نادراً) ينشأ عن الهواء المتحرك طاقة، وهذه الطاقة تدفع بعض الأجزاء القابلة للتحرك من جهاز النطق (أو أعضاء النطق) إلى الاهتزاز.



شكل ١. منظر تخطيطي عام لجهاز النطق

ومن أهم الأعضاء الوتران الصوتيان *vocal cords*؛ **ويقعان فوق القصبة الهوائية** *trachea* **عند الحنجرة** *larynx* **(صندوق الصوت). وأفضل أن أسميها الشفتين الصوتيتين** *vocal lips*؛ **إذ إنهما ليسا وترين أو حبلين يمتدان كأوتار آلة الكمان، ولكنهما يشكلان فتحة تشبه فتحة الفم، وهي ما يسمى المزمار** *glottis*. **ويمكن للمزمار أن ينفتح أو ينغلق بحسب الاختيار، كما يمكن للشفتين الصوتيتين أن ترتخيا أو تتوترا، وأن تنغلقا أو تنفتحا، بحسب الاختيار كما تفعل شفتا الفم. ولذلك يمكن للشفتين الصوتيتين أن يشرعا في الاهتزازات بسبب الهواء المنطلق، أو تتركا في حالة ارتخاء وسكون دون أن تعترضا مجرى الهواء.**

وعندما تهتز الشفتان الصوتيتان تسهمان إسهاماً فعالاً في النطق بالصوائت *vowels* والصوامت المجهورة *voiced consonants* (الناعمة *soft*) مثل الباء والدال والزاي والميم والنون وصوامت أخرى غير ذلك. أما عند النطق بالصوامت المهموسة *voiceless consonants* - كالتاء والفاء والكاف والسين - فإنهما لا تهتزان.

وتشتمل بعض اللغات (كاليابانية - مثلاً) على صوائت مهموسة أو موشوشة *whispered*. وينطوي هذا الأمر - إذا ما طبقنا ما ذكرناه الآن من تعريف للصوائت - على تناقض في المصطلح. غير أن في إمكاننا أن نسمى هذه الأصوات صوائت بمصطلح الدراسة الصوتيمية على الأقل؛ لأنها تقوم بالوظيفة التركيبية التي تقوم بها الصوائت المجهورة. ونحن نواجه هنا أحد المواقف المؤسفة التي تكون فيها مصطلحات الدراسة الصوتية *Phonetics* والدراسة الصوتيمية *phonemics* على طرفي نقيض؛ ذلك أن تصنيف الظاهرة في الأولى يتم على أساس الخصائص الفيزيائية (نطقياً وأكوستيكياً...إلخ)، على حين يتم في الثانية على أساس وظيفتها في النظام[٦].

والكلام الموشوش *whispered speech* أيضاً يتم دون أن تنشط الشفتان الصوتيتان. وفي هذه الحالة نجد أن عملية تَعَرُّف السامع إلى ما يمكن أن يكون تقابلاً دالاً في أصوات الكلام بين المجهور والمهموس في الإنجليزية (وفي لغات أخرى كثيرة) تحتاج إلى ما يكملها، ويتم تكميلها بمجموعة من الخصائص المميزة المصاحبة. وعلى ذلك يُهمَل وجه التمايز الأساسي والتقليدي في بعض الظروف غير العادية ليحل محلَّه خاصية ثانوية. ويعني هذا ضمناً أن ألوان التمايز بين الأصوات لا بد أن تزيد، وسيأتي ذِكْر كثير من هذه الألوان[٧]، كما يعني ذلك أيضاً أن هذه الألوان هي انحرافات مسموح بها عن المعيار *deviations*، يتعرّفها السامع ويمنحها قبولاً، ويتكيف معها تلقائياً.

وينبغي أن نميز بين هذا النوع من الوشوشة وما يسمى **بالوشوشة المسرحية** *stage whisper*؛ فهذا النوع الأخير ليس وشوشة حقيقية البتة، وإنما هو كلام عادي يمتاز بضعف العلو وزيادة النَّفَس، وهذا يعني أن كمية الهواء المستخدم في النطق أثناء الوشوشة المسرحية أكبر من الكمية المعتادة؛ فما يُضفي على الأصوات صفة الوشوشة الزائفة أو نوعاً من **النَّفَسية** *aspiration* يستدعى إلى الذهن الوشوشة الحقيقية[٨].

ويسهم اللسان والأسنان والشفتان وسقف الحنك والفك السفلي في تعديل النغمة الناتجة عن اهتزاز الشفتين الصوتيتين، كما أن هذه الأعضاء نفسها تُصدر - عند انعدام هذه النغمة - ألواناً من الضجيج، يجري تصنيفها وتمييزها على أنها أصوات كلام غير مجهورة.

والإنسان قادر على صنع الكثير من الأصوات المتنوعة؛ وذلك لأن معظم أعضاء النطق، لاسيما اللسان (الذي هو من أوفر الأعضاء العضلية في الجسم حظاً من الحركة والخفة) - تستطيع أن تتحرك بطرق كثيرة عن طريق النشاط العضلي الإرادي. والإنسان يستطيع أن يغيّر - حسبما يريد - الحجم والشكل النسبيين للتجاويف الواقعة فوق الحنجرة (وهي **تجويف الفم** *oral cavity* **والتجويف الأنفمي** *oral - nasal cavity*. أما **تجويف الأنف** *nasal cavity* فهو غير قابل بمفرده للتعديل من حيث الحجم والشكل، وذلك لأنه لا يحتوي على أي أعضاء قابلة للحركة الإرادية، وليس كذلك تجويف الفم. ويتم تغيير التجاويف بتعديل المواقع النسبية لأعضاء النطق). إن الإنسان يملك أن ينشط هذه الأعضاء على الأقل من حيث علاقة كل منهما بالآخر، أو أن يدعها في وضع الراحة فرادى أو مجتمعات. ويمكن لجهاز النطق البشري - بتعديلات ضئيلة في أوضاع أعضاء النطق - أن يصدر أنواعاً متمايزة من الأصوات. وستتضح أسباب ذلك فيما بعد. ولذلك يعد هذا الجهاز آلة دقيقة قابلة لإصدار تنويعات لا تقع تحت حصر من ألوان النغم والضجيج المتمايزة.

ومن بين هذه الإمكانات العريضة المتاحة من ألوان النطق تستخدم كل لغة عدداً محدوداً من الفئات المنطوقة تتدرج عدتها تقريباً من أربع وعشرين فئة إلى اثنتين وسبعين. وتسمى كل فئة من هذه الفئات صوتيما *phoneme*، وترد في اللغة متنوعة من حيث توزيعها؛ أي أنها تتبع قواعد مختلفة من حيث التوليفات المسموح بها، والمواقع الممكنة بالنسبة لمواضع الوقف. إننا نجد في الإنجليزية - مثلاً - الصوت / θ / [٩] الذي هو في الهجاء th ولا نجده في الألمانية، ونجد في الألمانية الصوت / x / [١٠] ولا نجده في الإنجليزية. وفي الأسبانية خمسة صوائت فحسب، أما الإنجليزية ففيها تسعة صوائت (أو عشرة أو أحد عشر على خلاف في الرأي). والنطق في الألمانية يمكن أن يبدأ في موقع ما بعد السكتة - أي في بداية الكلمة - بالأصوات الثلاثة الآتية: / Pfl / كما في Pflaume «برقوق أو خوخ» على حين أن الأمر في الإنجليزية ليس كذلك. ويمكن للنطق في الألمانية أن ينتهي في موقع ما قبل السكتة - أي في نهاية الكلمة - بالأصوات / rbst / كما في harbst «الخريف»، وليس كذلك الأمر في الإيطالية. ويقع الصوت / ŋ / [١١] في الإنجليزية وسطاً ونهاية كما في singing ولكنه لا يقع في البداية. أما في الفرنسية فلا يرد البتة. ويقع الصوت / ɲ / [١٢] في الفرنسية وسطاً ونهاية، ولا يقع في البداية كما في campagne على حين لا يقع صوتيماً في الإنجليزية (وإن كان يقع فيها تنويعاً صوتياً allophone للصوتيم / n / [١٣] كما في onion).

ويكتسب كل متكلم المادة الساذجة الخاصة بالصوتيمات في لغته القومية بالإضافة إلى القواعد التي تحكم توزيعها منذ الطفولة من طريق التقليد والمحاولة والخطأ. ويطور الطفل في هذا المجال من مجالات نشاطه العقلي وعياً بالنشاط العضلي المصاحب لحركة أعضاء النطق؛ أي نوعاً من الاستبطان يؤدي إلى التحكم الذاتي في الجهد العضلي؛ ولذلك يتعلم تلقائياً

كيفية إصدار أصوات تنتمي في الغالب إلى الصوتيمات الصحيحة. ويصير هذا الأمر جزءاً راسخاً من السلوك الثقافي اللساني عند الإنسان؛ حتى إن ذلك ليُغري من لا خبرة له بالأمر بأن يرجعه إلى الميراث البيولوجي للإنسان، لاسيما أن مصطلح «اللغة السليقية» *native language* يقوي تصور اللغة على أنها شيء يولد مع الفرد.

وربما يقود مثل هذا الرأي إلى الاعتقاد بأن الناطق بالإنجليزية بوصفها لغته القومية، وهو منحدر - على سبيل المثال - من أسلاف فرنسيين - يرث ميلاً إلى تعلم الفرنسية أكبر من ميله إلى الإيطالية أو الأسبانية، أو أنه يتعلم الفرنسية بأسرع وأيسر مما يتعلمها شخص ينتمي إلى سلالة مختلفة.

إن مثل هذا الدارس ربما لا يكون لديه ميل طبيعي أكبر لهذه اللغة، ولكن الذي لديه هو استحسان سابق للفرنسية. وإذا كان ذلك كذلك كان لهذا الاستحسان جذوره من إيثار ثقافة علي ثقافة، أو جذورُه من التقاليد أو العاطفة الأسرية، وليس من الميراث البيولوجي. إن اللغة وصوتيماتها وأجزاءها التركيبية الأخرى ليست موروثة بيولوجياً بأكثر من عادات المرء المتصلة باللباس والطعام.. وهي - على العكس من ذلك - خصائص ثقافية تكتسب من الظروف المحيطة؛ ولذلك فهي تختلف كأساليب المأكل والملبس من مجتمع إلى مجتمع؛ ومن ثقافة إلى ثقافة، ومن عصر إلى عصر.. وإن كان التماثل في الثقافة لا ينشأ عنه تماثل في اللغة كما أن اختلاف الثقافة لا ينتج اختلافاً في اللغة.

لكنّ القدرة على الكلام - بقطع النظر عن اللغة - هي على أي حال «قومية» بالفعل بصيرورتها جزءاً فطرياً من الميراث الحقيقي للإنسان.

إن الإنسان هو الحيوان المتكلم الوحيد، وهو وحده الذي لديه تكوين ملائم من حيث المخ والأعصاب يسمح له بهذا السلوك البشري المتميز. وقد

اكتسب الإنسان هذا الجهاز بواسطة تحولات في التطور لا ندري بها ولا بكيفيتها؛ فالحيوان ربما يقيم تواصلاً فيما بين أفراده، ولكنه لايتكلم، ولا يكتسب، ولا يختزن لينقل المعرفة بطريق اللغة؛ كما أن الحيوان لا يستطيع أن يصوغ قضايا سلبية كأن يقول: هذا الشيء ليس كذا، أو أن يكذب. وربما يقوم ميل الإنسان الخاص إلى اللغة بدور ما، بالإضافة إلى قدرته على استخدام أدوات ما وراء الجسد (الروحانيات) *extra corporeal tools*؛ غير أن أصول الكلام وظروف اللغة الإنسانية الأولى لاتزال سرّاً غير قابل للكشف.

وجدير بالملاحظة أن الإنسان لم ينشئ منظومة جديرة من الصفات الجسمية تمكنه من التكلم. إن كل أجزاء جهازه النطقي ليست إلا أجزاء مكيفة للقيام بهذه المهمة الخاصة، وإن كانت مصممة في الأصل لتقوم بوظائف حيوية أولية بيولوجية، فسيولوجية.

ومن الواضح أن الحجاب الحاجز والرئتين والقصبة الهوائية هي أعضاء لازمة للتنفس، ولإمداد الجسم بالأكسجين الذي يغذي الدورة الدموية = وأن الشفتين الصوتيتين وغضاريف الحنجرة التي تحميها (وأكبرها تفاحة آدم)، ولسان المزمار (وهو غضروف على هيئة لبّاسة الحذاء - يبرز فوق القصبة الهوائية عند قاعدة اللسان)؛ كل أولئك يحمي الشُّعب والرئتين من تطفل أي جسم غريب = وأن الفم بما فيه من اللسان والأسنان والفكين والشفتين يعمل على الإمساك بالطعام والاحتفاظ به وقضمه. وواضح أيضاً أن اللسان هو بؤرة الإحساس بالتذوق، وأن الوظيفة الأولى للأنف هي ترشيح الهواء وتدفئته وترطيبه قبل دخوله إلى الرئتين، وحمل الروائح إلى مراكز الشم. وكذلك الأذن التي لا تستخدم في الكلام بل في سماعه فقط تشارك كذلك في الإحساس بالتوازن.

والذين يستخدمون منظومة واحدة من الصوتيمات تخضع لقواعد توزيعية

واحدة، بالإضافة إلى استخدامهم منظومات أخرى على المستويات المختلفة: الصيغ والتراكيب والوحدات المعجمية - هؤلاء يقال عنهم إنهم يتكلمون لهجة أو لغة واحدة، وينتمون إلى جماعة لغوية واحدة.

وتشتمل القائمة «١» على صوتيمات اللغة الإنجليزية الأمريكية تبعاً لطريقة النطق ولمخارج النطق [١٤]. وليس كل اللسانيين على اتفاق بشأن البنية الصوتيمية للإنجليزية الأمريكية، هذا إذا سلمنا بوجود لغة إنجليزية أمريكية واحدة. ولكن الدخول في هذا الجدل لا يتفق مع ما أهدف إليه هنا. ولست أريد أن أولي اهتماماً مركزاً للجدل الدائر الآن[١٥] بين مدرستين من المدارس اللسانية، يمكن أن نطلق على إحداهما مدرسة الطبيعيين *Physicalists*، وعلى الأخرى مدرسة التوزيعيين أو العلائقيين *Distribution-alists or Relationalists* - لكني ألاحظ أن المظاهر الفيزيائية هي من صميم التحليل اللساني، لاسيما على المستوى الصوتيمي؛ ذلك أن اللغة تتضمن مادة فيزيائية يمكن أن تلاحظ وتقاس طبقاً لتركيبها الفيزيائي، وعلى عالم اللسانيات عند حصوله على المادة الفيزيائية أن يصنفها، ولا مفر له في هذه المرحلة من أن يوطن نفسه على أن هذه المادة ظاهرة ثقافية، بالإضافة إلى كونها ظاهرة أكوستيكية؛ أي أن لها صلة بفيزياء الصوت. أما الإهمال التام للجانب الفيزيائي فيبدو - على أقل تقدير - نوعاً من الخَرق. لذلك سألتزم في تضاعيف هذا الكتاب بهذا الموقف، وهو موقف تبنيته - جزئياً على الأقل - نتيجة لما تعلمته من نظر إلى اللغة بمنظور التصوير الطيفي. وفَحْوى هذا الموقف هو أنه لا يمكن لأيٍّ من المدرستين: المدرسة الفيزيائية الصِّرف ومدرسة العلاقات التي تخالفها أن تقدم لنا إجابات عن جميع الأسئلة التي نحتاج إلى معرفتها عن اللغة. وأحرى بنا أن نعالج المظاهر الفيزيائية والثقافية للغة في ارتباط بعضها ببعض.

القائمة «١»

صوتيمات اللغة الإنجليزية الأمريكية

	انفجاري		انطلاقي			
			احتكاكي		انفي	مائع	حفيفي
	مجهور	مهموس	مجهور	مهموس	مجهور	مجهور	مهموس
شفوي	b	p	w		m		
شفوي أسناني			v	f			
أسناني	d	t	z	s	n	l, r	
لثوي			3	ʃ			
مما بين الأسنان			ð	θ			
غاري طبقي	g	k	j		ɾ		h
حنجري							

أمثلة:

		*m*ane		*w*ane	*p*ane	*b*ane
			*f*ame	*v*ane		
	*l*ane, *r*ain	*n*ame	*s*ame	*z*any	*t*ame	*D*ane
			*sh*ame	azure		
		ba*ng*	*th*in	*th*an		
*h*ang				*y*am	*c*ane	*g*ain

ضيق	عال	خلفي	مركزي	أمامي
		u U		i I
مدور	وسطي		o ^	e
			ɔ æ	ɛ
واسع	سفلي		a	

أمثلة:

			boot	be*at*
				bit
				bate
		bud	Buddha	
			boat	bet
			bought	bat
			father	

وتوضيحاً لما سبق بالمثال أسوق ما يأتي:

يقرر أحد المذاهب الأساسية في النظرية الصوتيمية بالنسبة للكلمة الإنجليزية / lull / أن الصوت [*l*] في بداية الكلمة، والصوت [*l*] [أي اللام المفخمة] هما صوتان مختلفان من الوجهة الصوتية، ولكنهما ينبغي أن يصنفا على أنهما بديلان موقعيان *positional variants*؛ أي اثنان من الألوفونات *allophones* لصوتيم واحد هو [*l*]، وألا يصنفا على أنهما صوتيمان مستقلان. وعلة ذلك أن أحد الصوتين يرد في أحد المواقع على نحو يمكن التنبؤ به، على حين يرد الصوت الثاني في موقع آخر، ولكن أيّاً منهما لا يرد في كلا الموقعين. هكذا يكون القول في الصوتيم [*l*] - إذا قيدناه بالأغراض الصوتية (الفوناتيكية) تبعاً للموقع - قولاً واضحاً وعارياً من اللبس. إننا نقول إن الأصوات التي ترد في توزيع تكاملي *Complementary distribution*[١٦] هي تحققات صوتية مختلفة لصوتيم واحد وليست صوتيمات مستقلة. يضاف إلى ذلك أمر آخر - له الأهمية العظمى من وجهة نظري - هو أنك إذا سألت المتكلم السليقي بهذه اللغة: هل تبدأ الكلمة lull وتنتهي بصوت واحد فإنه سيؤكد بلا خلاف أنها كذلك. أما السبب الأخير فهو أن الصويتن [*l*] و [*l*] متشابهان من الوجهة الفوناتيكية.

أما إذا امتد معيار التوزيع التكاملي إلى الصوتين [h] و [*t*] ليعلن أنهما عضوان ينتميان إلى صوتيم واحد، على أساس أن [h] لا تقع في نهاية كلمة إطلاقاً وأن [*t*] تقع في النهاية دائماً - فإن ذلك سيكون أمراً صعباً من جهة رد الفعل لدى المتكلم السليقي، فهو لن يسلم على الإطلاق بأن كلمة [hell] تبدأ وتنتهي بصوت واحد، حيث إن القول بذلك يتطلب وجوب تحقق الشبه الصوتي. وصحيح أن التشابه أمر نسبي، فإلى أي مدى يمكن أن يكون لدينا صوتان متمايزان بالمعيار الفوناتيكي ومع ذلك نظل نعاملهما على أنهما صوتان متشابهان؟ إن مشكلة الصوتين [h] و [*t*] حلها ميسور؛ ذلك الصوت [*t*]

وكل الأصوات التي لها شبه بالصوت [*l*] تنتمي بالدليل الصوتي للصوتيم /*l*/ بقطع النظر عن العلاقة التوزيعية بينها وبين الصوت [h]. ولا أعرف مشتغلاً بالصوتيات - مهما تكن درجة انحيازه إلى مذهب التوزيعيين - يصنف هذا الوضع تصنيفاً مخالفاً، متجاهلاً بذلك - في ثقة - الاعتداد بالشبه الصوتي. ولا أدري ما كان سيفعله مثل هذا المحلِّل لو أن [*t*] كان هو التحقق الصوتي الوحيد للصوتيم /*l*/، فربما أمكنه - حينئذ - أن يدرج الصوتين [*l*] و [h] بالفعل تحت صوتيم واحد.

أما أنا شخصياً فلن أقدم على هذه الفعلة للأسباب التي فرغت لتوي من ذكرها، وأيضاً لأن التحليل الطيفي سيمدنا - كما سنرى - بأسباب إضافية لاستخدام كل من معايير التوزيع والدراسة الصوتية في تحليل الأصوات وتصنيفها تصنيفاً صوتيمياً.

إننا إذا عددنا الدراسة الصوتيمية نظاماً من أنظمة الحسابات الدفترية يقصر اهتمامه في الواقع على قضايا التوزيع - حينئذ يكون من الطبيعي أن تنتفي الأسباب المانعة لعزو الصوتين [*l*] و [h] إلى صوتيم واحد. غير أني أوثر - كما ذكرت في تقديمي لهذا الكتاب - أن يستخدم التحليل الصوتيمي بوصفه عمليةَ فحص للمادة المتاحة تستهدف الكشف عن البنية المستترة *underlying structure*(١٧)، وليس بوصفه عملية تُقْسر فيها كتلة من المواد على الاندراج تحت بنية ما، ولذلك أعد المحتوى الفيزيائي لكل وحدة أمراً من صميم كينونتها. إن المسألة الجوهرية هنا ليست البحث عن جواب للسؤال: هل الصوتان [h] و [*t*] ينتميان لصوتيم واحد أم أنهما صوتيمان مختلفان؟. ولكن المسألة الجوهرية هي أن نحدد مفهوم الصوتيم ومفهوم الدراسة الصوتيمية، وأن نقرر: هل يتضمن هذا التحديد معياراً يَعْتَدُّ برد الفعل لدى المتكلم السليقي باللغة وبالشبه الصوتي بين الأصوات أم لا. إنني وكثيرون

غيري نؤثر الاحتمال الأخير. وستحاول المناقشة التي أسوقها عن التصوير الطيفي أن تقدم المزيد من الأدلة التي تسوِّغ هذا الإيثار، أو أن نورد في التعليل له أسباباً أخر.

وعلى المرء ألا ينسى أن أصوات الكلام - من الناحية الفيزيائية - هي نغمات *tones* وضجات *noises* كغيرها من النغمات والضجات التي تحدث في الطبيعة. وتمتاز هذه الأصوات من سائر الأصوات المحيطة بنا بعاملين:

أولهما: أنها تصدر عن جهاز النطق البشري. وصحيح أن ثمة طرقاً لإنتاج أصوات لغوية مخلّقة (صناعية) *synthetic speech sounds*[١٨]، لكنها على الرغم من هذا تقليد للأصوات الطبيعية، وتتفاضل فيما بينها بمدى دقة اقترابها من تلك الأصوات الطبيعية.

وثانيهما: أنها أصوات تم انتقاؤها من بين مجموع الأصوات، ثم ارتقت بخصوصيتها إلى موقعها ووظيفتها اللغوية المعينة.

ويرجع هذا الانتقاء إلى اتفاق ثقافي، أو إلى عقد غير مكتوب بين أعضاء الجماعة اللغوية يتفقون فيه على استخدام عدد بعينه وأنماط بعينها من بين أنواع الأصوات الممكنة لتكون صوتيمات للفتهم. وهكذا يكون في حوزة جميع أعضاء الجماعة اللغوية عدد قليل سهل الاستعمال من قواعد السلوك الأكوستيكي لها صفة الإلزام العام فيما يتعلق باللغة. وطبقاً لهذه القواعد السلوكية التي يكتسبها الأطفال أثناء نموهم عن طريق تقليد ما يسمعون نراهم يتعلمون هذه اللعبة الممتازة؛ وهي أن يستخدموا وجوههم في صنع ألوان من الضجيج. ويمكن لكل أعضاء الجماعة اللغوية - إذا ما كانوا ذوي مواهب طبيعية من حيث الجسم والعقل - أن يبلغوا مثل هذه المقدرة والمهارة في هذا النشاط البالغ التعقيد حتى يصير الكلام أداة بارعة وناجحة للتواصل والتعاون. وبما أن أصوات الكلام لا تختلف أساساً عن غيرها من الأصوات - كان ثمة مسوغ لا يقبل الجدل لأن تفحص بالطريقة التي يفحص بها غيرها

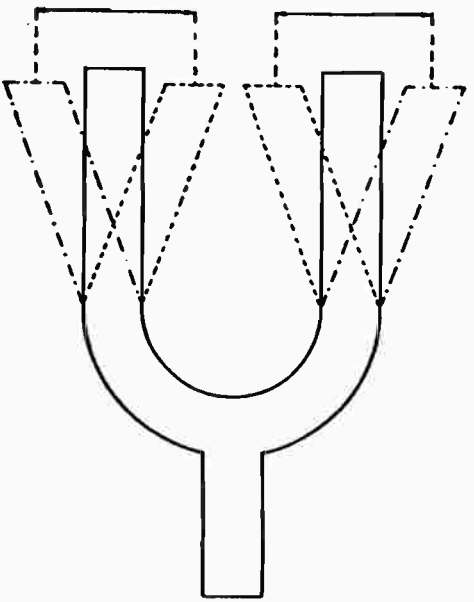
من الأصوات التي يدركها سمع الإنسان. بيد أن أصوات الكلام هي في الوقت نفسه أجزاء جوهرية من اللغة، التي هي بنية محكمة من أنماط السلوك الثقافي - لذلك كان من الممكن، بل من الواجب، أن تفحص أيضاً بالمنظور الثقافي في العلوم السلوكية. ولأنني لسانيٌّ ولست من علماء فيزياء الصوت ولأن اهتمامي واهتمام قرائي - فيما أفترض - هو باللغة أساساً وليس بفيزياء الصوت - لذلك ستكون المظاهر اللسانية هي البارزة في التحليل الأكوستيكي وفي تصوير الكلام الذي سأورد وصفه فيما يلي من صفحات. ومن ثم ينبغي في وصفي لتركيب الجهاز الذي يقوم بالتحليل وهو **المطياف** *spectrograph* أن أستهدف الوصول إلى النتائج التي هي - فوق كل شيء - ذات أهمية لسانية وتقع في صميم موضوعنا. وإن كان ذلك لن يستنفد على الإطلاق جميع إمكانات المطياف بالنسبة لبحوث فيزياء الصوت.

* * *

الفصل الثاني

النغمات

عندما أطرق شوكة رنانة فإن طرفَيْ ذراعي الشوكة يهتزان كما يبدو في الشكل (٢). وتشير الأسهم إلى أقصى مدى للاهتزاز.



شكل ٢ . شوكة رنانة في حالة اهتزاز

ويتناسب هذا المدى مع القوة التي طرقت بها الشوكة، كما يعتمد - بطبيعة الحال - على الخصائص الفيزيائية للشوكة: مادتها ووزنها وشكلها. ويطلق على هذا المدى اتساع الذبذبة *amplitude*. ويتأرجح طرفا الشوكة

بسرعة معينة يمكن أن تقاس بوحدة زمنية؛ فقد نجد طرفي الشوكة - على سبيل المثال - يتحركان من وضع الراحة إلى أقصى وضع لهما في اتجاه ما، ثم إلى أقصي وضع في الاتجاه الآخر، ثم يعودان مرة أخرى إلى وضع الراحة مئتي مرة في الثانية، ويسمى هذا المقياس **التردد** *frequency*، ويعبر عنه بالذبذبة في الثانية على النحو الآتي: ٢٠٠ذ/ث. ويعتمد عدد الذبذبات في الثانية على طول ذراعي الشوكة (وأيضاً على خصائصها الفيزيائية)؛ فكلما طال ذراعا الشوكة زادت المدة الزمنية التي يتطلبها طرفاها لكي يُتما ذبذبة واحدة، وهذا يعني نقص تردد الشوكة الرنانة.

وتقاس **استمرارية حركة الشوكة** *extensity* (أو **مدتها** *duration*) قياساً زمنياً؛ فالشوكة تهتز لعدد معين من الثواني.

وبما أن هذه الاهتزازات يلتقطها الهواء، وتنتشر من خلال سلسلة من الضغوط والتخلخلات في الكثافة، تتولد عند ذراعي الشوكة الرنانة، وتنشأ عنها الحركة البندولية في جزيئات الهواء = وبما أن الاهتزازات تدرك في نهاية الأمر عند اصطدامها بطبلة الأذن على هيئة أصوات - لذلك كان السؤال الذي علينا أن نطرحه هو: بأي شكل تدرك الأذن في عملية السماع كل كمية من الكميات التي فرغنا لتوّنا من تسميتها؟

يرتبط **اتساع الذبذبة** *amplitude* فيزيائياً **بضغط الصوت** *sound pressure* وهو **انحراف** *deviation* عن ضغط الهواء الجوي المحيط يرجع إلى إزاحة جزيئات الهواء، ويقاس **بالداين** *dyens*، وهذا الاتساع يرتبط من جهة الإدراك **بعلو الصوت** *loudness* ويقاس علو الصوت **بالسون** *sones* وهذه الكمية هي بين كميات الإدراك، ولذلك فهي كمية ذاتية. أما من جهة الحقيقة الموضوعية فقد اصطلح على تسمية هذه الظاهرة **بالقوة الأكوستيكية** *acouistic power* وتقاس **بالوات** *watt*، وهو الوحدة التي يحسب بها استهلاك التيار الكهربي.

وضرورة التمييز بين العلو والقوة راجع إلى سلوك الأذن، فالأذن لا تترجم كل زيادة في القوة إلى زيادة مساوية رياضيّاً في العلو. يضاف إلى ذلك أن هذا التحريف الذي تمارسه الأذن لا يجري بطريقة واحدة مع كل مستويات التردد؛ ومثال ذلك أن القوة إذا نقصت فإن النغمات ذات التردد العالي تسمع على أنها أعلى من النغمات ذات التردد المنخفض. أما إذا زادت القوة فإن كل النغمات التي تتساوى في القوة تكون متساوية في العلو بقطع النظر عن اختلاف التردد.

ومن ثم فإن تغير القوة عند مستويات القوة المنخفضة ينتج عنه تغير القوة عند مستويات القوة المالية فينتج في الحقيقة نفس التغير في العلو بقطع النظر عن اختلاف التردد. وكذلك يكون الأمر عندما يكون مستوى القوة واحداً؛ إذ سنجد أحد الترددات يسمع عندما يكون العلو في أدنى درجاته. أما الترددات التي هي أعلى أو أقل من هذا التردد فلا تسمع إلا عندما يكون العلو أكبر.

وأُذن الإنسان حساسة بالنسبة لمجال واسع من القوى الأكوستيكية؛ فضغط أعلى صوت يمكن أن تدركه دون ألم أو ضرر يعادل ضغط أضعف صوت يمكنها سماعه حوالي مليون مرة. ولكي يسهل علينا استخدام هذه الأرقام الكبيرة في الحسابات الرياضية يقاس العلو غالباً بوحدة وضعت لهذا الغرض تسمى الديسيبل *decibel*، واختصارها د ب (d.b).

والديسيبل هو في الواقع وحدة يقاس بها التناسب بين كميتين من كميات الطاقة الكهربية أو الأكوستيكية، كما تقيس النسبة المئوية التناسب بين رقمين. غير أن هناك تقنيناً حديثاً قد وَضَع لقياس الطاقة تدريجاً ثابتاً يرجع إليه، بحيث صار للديسيبل بالنسبة لهذا التقنين مفهوم ثابت (كدرجة من درجات الترمومتر - مثلاً - حيث يتم تدريج الترمومتر ما بين نقطة غليان الماء ونقطة تجمده في مستوى سطح البحر)[١٩].

والقيمة المعيارية المرجعية التي اختيرت لنقطة الصفر هي 10^{-16} واط في السنتيمتر المربع أي $\frac{1}{10}$ كادرليون من الواط وهذه الكمية هي أقل كمية من الطاقة تقع فوق أول حد من حدود الإدراك لأذن الإنسان، وهي ذات درجة تفضل قليلاً درجة الحساسية الطبيعية للسمع. أضف إلى ذلك أن أقل فرق يمكن للمستمع العادي إدراكه تقريباً هو ١ دب. لكن يبدو أن هذا الفرق يعتمد أيضاً - وإلى حد ما - على نوع الصوت الذي هو تحت الفحص: هل هو ضجة أم نغمة؟ وما نوعه من الضجات أو النغمات؟. وعلى هذا التدريج الذي تكون وحدته هي الديسيبل تقع المحادثة المادية بين ٥٠ - ٧٠ دب. أما الضجة التي تكون أعلى من ١٢٠ دب؛ فتسبب للأذن الألم والطنين المستمر، بل يمكن أن تسبب الصمم المؤقت (يلاحظ أن حاجتي إلى استخدام الديسيبل فيما يلي من فصول هذا الكتاب ستكون قليلة).

والتردد *frequency* يحدد درجة الصوت *pitch* التي يسمعها الإنسان. وكلما زاد التردد علت الدرجة. ومضاعفة التردد يرفع أي نغمة بمقدار طبقة واحدة *octave* في السلم الموسيقي. وهنا أيضاً - وللأسباب التي سبق ذكرها في حديثنا عن العلو - يوجد مقياس ذاتي وآخر موضوعي لتقدير الدرجة: يستخدم الأول المِل *mel* وحدة للقياس، ويستخدم الأخير الذبذبة في الثانية مقياساً له.

وإذن نحن عندما نتكلم عن «الاتساع - العلو» و«التردد - الدرجة» إنما نستخدم نوعين من الوصف والقياس لكل منهما: الديسيبل والوات للأول، والمل والذبذبة في الثانية للأخير. والديسيبل والمل مقياسان للإدراك يصفان ما يدركه الإنسان الذي يلاحظ الظاهرة. أما الوات والذبذبة في الثانية فهما مقياسان موضوعيان للطاقة يصفان ما تسجله الآلة غير البشرية. وليست العلاقة بين كل من هذين النوعين علاقة تناسب بسيط؛ فالعلاقة إذا مثلناها بخط بياني لن تظهر على هيئة خطوط بسيطة مستقيمة بل على هيئة

منحنيات تعرف بالمنحنيات النفسية - الأكوستيكية *psycho - acoustic curves*. وقد يكتفي علماء الأنثروبولوجيا وعلماء النفس وعلماء اللسان الذين يعالجون اللغة في مستواها الثقافي (علماء الصوتيمات) بواحد من هذين النوعين، على حين يهتم عالم الفيزياء والأكوستيكي أو اللساني الذي يعالج اللغة على مستوى العلم الطبيعي (علماء الصوتيات «الفونوطيقا») بالنوع الآخر. أما عالم اللسانيات المختبرية المشتغل بالتحليل الطيفي فهو يهتم بالقيم الثقافية والفيزيائية للظاهرة في آن، ويأمل أن يقيم علاقة بين هذين النوعين من القيم، ولذلك ينبغي عليه أن يفسر الشاهد الذي يحصل عليه من كلا المصدرين بكلا النوعين من المصطلحات، وينبغي في نهاية الأمر أن يصفه بمصطلح من نوع ثالث هو المصطلح النفسي - الأكوستيكي. وهذا مثال آخر يدلنا على حاجتنا لأن ننظر إلى اللغة بوصفها ظاهرة ثقافية وفيزيائية في آن. وهذه الآنية بطبيعة الحال لا تتضمن ولا تستلزم استخدام مناهج أو أوصاف تتسم بالخلط والفوضى.

وإذا استخدمنا - مكان منظومة مكونة من أربع شوكات رنانة مختلفة أطوال الأذرع - أربعة أوتار مشدودة ذات أطوال وكتل متساوية فإنه يظل في إمكاننا إنتاج نغمات من درجات مختلفة بتغيير شد الأوتار (في حدود تظل تفرضها مرونة المادة). وكلما زاد شد الوتر زادت سرعة ذبذباته عند الطَّرْق، وارتفعت درجة النغمة الناتجة. وكذلك تستطيع الشفاه الصوتية - بواسطة حركة المضلات - أن تكون مشدودة أو مرتخية. ولأن هذه الشفاه لحمية وليست معدنية لذلك كانت أنواع الدرجات المتاحة لها كبيرة. (لاحظ أنه يمكن ربط الإطالة لأي شفتين صوتيين عادة بانخفاض الدرجة. أما إذا كانت الإطالة مصحوبة بتوتر فإن أثر زيادة التوتر يتغلب على أثر زيادة الطول، وتصير درجة النغمة أقرب إلى الارتفاع منها إلى الانخفاض).

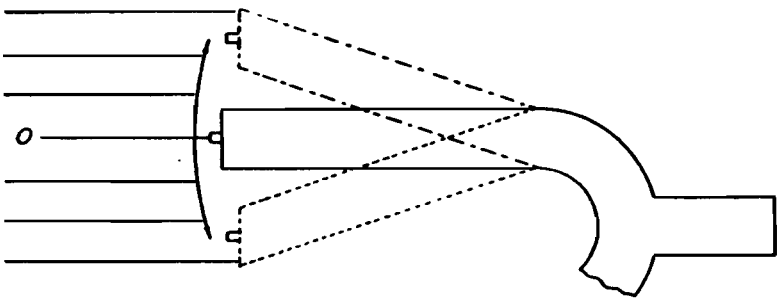
وأوتار الكمان الأربعة المتساوية تقريباً في الطول يمكن أن تصدر عنها

نغمة خامسة، مع قابلية كل وتر بمفرده لإصدار درجة يمكن تعديلها عن طريق شد الوتر. غير أننا إذا أردنا أن نزود الآلة بالفروق الأربعة الأساسية في النغمة دون أن نكلف مرونة الأوتار فوق طاقتها فإننا لا نترك مهمة تنويع الأنغام إلى تنويع شد الوتر فحسب، بل نحقق ذلك إلى حد كبير باستخدام أربعة أوتار من كتل مختلفة (في المادة والسُّمْك). وبما أن التردد ينقص كلما زادت الكتلة إلى طول معين وتوتر معين، والعكس صحيح - لهذا كان من السهل أن نشد السلك الرفيع ذا الكتلة الصغيرة لينتج لنا نغمات عالية.

أما الأوتار المصنوعة من أمعاء الأغنام والخيل والأوتار الحلزونية الثقيلة في البيانو وما يشبهه من آلات - فهي أوتار ذات كتلة أكبر، وهي أنسب لإصدار نغمات منخفضة عندما تكون درجة توترها أقل. وكل وتر يمكنه - بطبيعة الحال - أن يصدر درجات متنوعة عن طريق استخدام وسيلة **الإيقاف** *stopping*، ونعني بها التحكم في تطويله وتقصيره بوضع الأصابع على أي نقطة بطول الوتر. وهذا هو ما يصنعه العازف بيده اليسرى.

والمتكلم ليس لديه إلا زوجان اثنان من الشفاه الصوتية، ومن ثم ليس لديه وسيلة لاستخدام **الإيقاف** داخل الحنجرة. لذلك كان تنويع درجات الأداء في الكلام أو الغناء دائماً تنويعاً لتوتر الشفتين الصوتيتين. وثمة شيء آخر هو أن أطوال الشفاه الصوتية وكتلتها تختلف باختلاف المتكلمين، ولذلك كان لكل متكلم مجال أساسي طبيعي من الدرجات لا يمكنه أن يتجاوزه. والظروف التشريحية لكل متكلم هي التي تمنحه الصوت السوبرانو *soprano* أو **الألتو** *alto* أو **الباريتون** *baritone* أو **الباص** *basso*[٢٠] (ونظراً لأن الشفاه الصوتية لدى الأطفال والنساء هي - بوجه عام - أصغر من حيث الكتلة لذلك توضع عند التصنيف في الطبقات الصوتية العليا. أما الطبقات الصوتية عند الرجال - وهي أكبر من حيث الكتلة - فتصنف في الطبقات الصوتية السفلى. وإذا تساوى جهازان نطقيان من حيث الخصائص التشريحية فإن الصوت المدرب

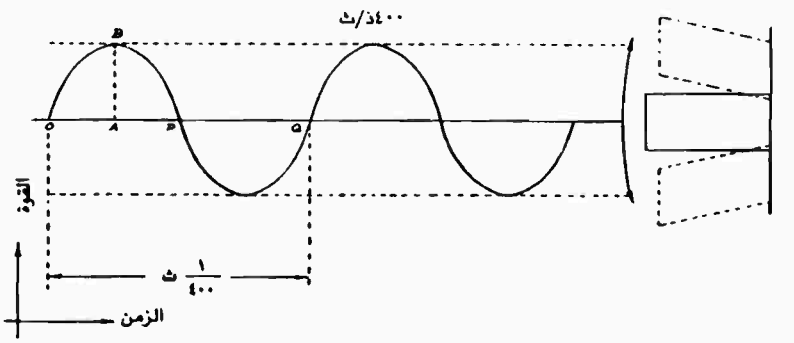
على الغناء يستطيع اكتساب الطريقة التي يصل بها إلى كلتا الطبقتين العليا والسفلى بأكثر مما يستطيع الصوت غير المدرب، وأن يؤدي بدقة ودون حشرجة أي درجة صوتية تُحدد له. ولكي يتمكن المتكلم أو المغني من التحكم في شد الشفتين الصوتيتين وإرخائهما - أتيح له طوع تصرفه منظومة بارعة من العضلات (إذا صح التعبير) يستطيع أن يحركها كيفما يريد.



شكل ٣ . ذراع شوكة رنانة في حالة اهتزاز

لنتصور، من قبيل التبسيط، الاهتزازات التي تصنعها ذراع واحدة فقط من ذراعي شوكة رنانة. إننا لو أمسكنا بالذراع، وجعلناها في وضع أفقي، وزودنا الناحية السفلية منها بقلم من أي نوع، وضغطنا به على صفحة من الورق - ضغطاً رقيقاً حتى لا تفقد الذراع كثيراً من طاقتها أثناء الاحتكاك - لو فعلنا ذلك لخرجنا بنتيجة يوضحها الشكل (٣)، حيث تتكرر الخطوط - بطبيعة الحال - فوق جزء من محيط دائرة على صفحة الورق.

ولكي نعيد تصوير هذه الحركة بحيث نمثل عامل الزمن علينا بدلاً من الإمساك بالورقة في وضع السكون أن نحركها بسرعة منتظمة تحت الذراع المهتزة - وبدلاً من أن يسير القلم على مسار واحد طول الوقت سيرسم لنا في هذه الحال خطاً متموجاً يسمى الرسم الذبذبي *oscillogram* والذي هو -على وجه الدقة - منحنى جيبي كما يبدو في الشكل (٤).



شكل٤ . رسم ذبذبي لشوكة رنانة في حالة اهتزاز

وتحويل الاهتزازات إلى صورة مرئية على هيئة منحنى بهذه الطريقة ليس إلا وسيلة من بين عدة وسائل ممكنة للتسجيل البصري. وجميع هذه الرسوم هي وسائل متعارف عليها لتمثيل الموجات وليست صورة واقعية للموجة الصوتية. وتمثل المسافة A - B في هذا الرسم اتساع النغمة (العلو، القوة) كما يعطى الخط O - Q صورة ذبذبة كاملة *cycle* أو دورة *period*.

وإذا افترضنا أن القلم قد استغرق في رسم كل من هاتين الذبذبتين الموضحتين بالرسم $\frac{١}{٤٠٠}$ من الثانية، فحينئذ تكون هذه الموجة بياناً لنغمة ترددها ٤٠٠ ذ/ث، ويجوز أن نعكس التعبير فنقول إن الذبذبة تستغرق $\frac{١}{٤٠٠}$ من الثانية، وإذن فالشوكة الرنانة المستخدمة هنا - بعبارة أخرى - ذات تردد هو ٤٠٠ ذ/ث، وهو تردد أعلى قليلاً من ٣٩٦ ذ/ث، وهي النغمة G الواقعة فوق نغمة C الوسطى. وقد اتفق في مؤتمر عقد في فيينا عام ١٨٨٩ على أن تكون النغمة المعيارية لدرجة الكونشيرتو A في أوروبا هي ٤٥٠ذ/ث. أما في الولايات المتحدة فالدرجة المعترف بها هي ٤٤٠ ذ/ث. (لاحظ أن هذه الدرجات الموسيقية عرفية ثقافية وليست مستويات طبيعية أو قطعية مفروضة سلفاً. إننا لا نعرف الدرجة المحددة التي عُزفت بها لأول مرة قطعة

موسيقية من أعمال باخ Bach أو بيهتوفن Beethoven - فضلاً عن الأعمال الأولى التي دونت بتدوين موسيقي مغاير للتدوين الذي نعرفه، وإن كان التدوين الموسيقي الذي وضعه المؤلف قد حدد - بطبيعة الحال - التناسب بين جميع الدرجات كما حدد مسار **اللحن الرئيسي** *theme* **والإيقاعات** *melodies*، ومن ثم فإن هذا التناسب لا يتغير، وينبغي أن نعي جيداً هذه النسبية في الدرجة التي تكفل لنا ثبات التعرف إلى القطعة الموسيقية مادام العزف الموسيقي محافظاً عليها، وذلك لأن نسبية الدرجة ذات أهمية أيضاً في الأداء اللغوي).

ونستطيع إذا عرفنا تردد أي نغمة من النغمات أي نحسب **طول موجتها** *wave lenght*؛ أي طول دورة واحدة (ذبذبة) مقيساً بالأقدام؛ وذلك بقسمة سرعة الصوت في الثانية على التردد. وعلى ذلك يكون طول الموجة التي ترددها ٤٠٠ ذ/ث هو $\frac{١١٣٠}{٤٠٠}$ ق = ٢,١٨ قدماً (ليس من المريح ولا من الضروري في شكل مثل الشكل ٤ أن تمثل الموجة بطولها الحقيقي. ولكي يتحقق هذا سنحتاج في التجربة الخاصة بالشكل ٤ إلى أن نحرك الورقة بسرعة الصوت. وسرعة الصوت - خلافاً لسرعة الضوء - لا تتصف بالثبات التام؛ فالسرعة التي أوردناها ١١٣٠ قدماً في الثانية هي سرعة الصوت في الهواء في درجة حرارة مقدارها ٢٠ درجة مئوية أو ٦٨ درجة فهرنهيت. وتنخفض السرعة إلى ١٠٨٩ ذ/ث في درجة الصفر المئوية أو ٣٢[٢١] فهرنهيت. وتزيد السرعة بزيادة كثافة الوسط؛ فالجوامد موصلات للصوت أفضل من السوائل، والسوائل أفضل من الغازيات، ولا يستطيع الصوت أن ينتقل في فراغ، أما الضوء فينتقل في الفراغ.

وتحتل الشوكة الرنانة - بين الأجسام القابلة للاهتزاز - مكانة خاصة، إذ إنها تصدر نغمة بسيطة جداً، تتكون من تردد أساسي واحد فقط (وتشارك الشوكة الرنانة في هذه الخاصية آلة الأوكارينا Ocarina والصفير الذي يطلقه الإنسان بصوته). وبسبب بساطتها ونقائها تستخدم الشوكة الرنانة لكي تقدم

للقائمين بضبط آلة البيانو درجة صوتية يرجعون إليها، وكذلك يرجع إليها من يُغَنُّون دون مصاحبة الموسيقا، والموسيقيون الذين يحتاجون إلى ضبط آلاتهم. (وقد وهب بعض الناس - وإن كانوا قلة نسبياً - صفاء في الدرجة الصوتية يمكّنهم من صنع نغمة بتردد معين - أو من التعرف إلى مثل تلك النغمة - على نحو دقيق دون الاستماع إلى مرجع أو معيار نغمي).

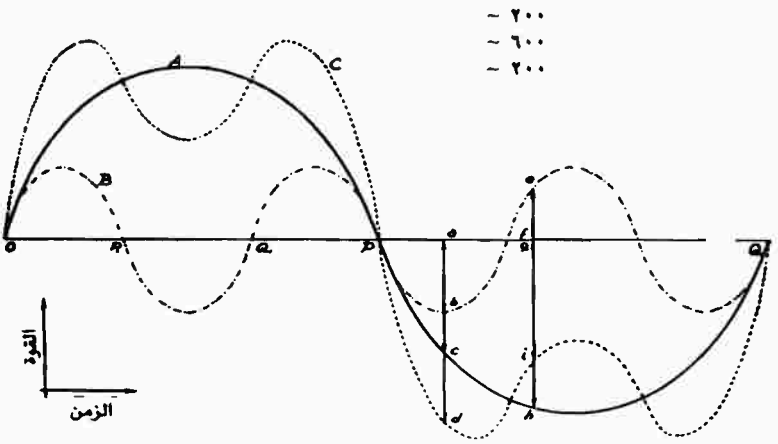
غير أن معظم الأصوات التي تصل إلى آذاننا - سواء صدرت عن آلة موسيقية أو صوت بشري أو أي مصدر غريب، وسواء كانت نغمات أو ضجات - ليست بسيطة في تركيبها على هذا النحو. وبدلاً من هذا التركيب البسيط تتألف هذه الأصوات من ترددين أو أكثر، وغالباً ما تتكون من عدد كبير من الترددات، تمتزج كلها امتزاجاً طبيعياً على نحو يدركها معه السامع على أنها صوت واحد. ومثل هذا الصوت يسمى **صوتاً مركباً** *complex*.

وإذن، فإدراكنا لأي صوت مركب هو إدراك لصوت واحد وليس لعدة أصوات، ولذلك نتوقع - حين يكون لدينا جسم يهتز منتجاً صوتاً مركباً - ألا يتكون الرسم الذي يمثل ذبذبة هذا الجسم من موجات جيبية متعددة بل من موجة صوتية واحدة ولكنها أشد تركيباً. وهنا يمكن لأحدنا أن يفترض -وافتراضه هذا له ما يسوغه - أن صورة الموجة المركبة هي - بطريقة ما - حاصل الموجات الجيبية البسيطة الداخلة في تكوينها، كما يفترض أن من المحتمل أن تكون هذه الموجة قابلة لأن تحلل إلى الأجزاء المكونة لها أكوستيكيا ورياضياً وبصرياً. ولنفحص هذه المسألة بالتفصيل.

لكي نعطي صورة تقريبية - وإن كانت ليست مطابقة - نشرح بها ظروف جسم يهتز مُصدِراً صوتاً ذا ترددين (ولاحظ أن هذه الحالة لا تزال حالة ممعنة في البساطة) - سنطرق شوكتين رنانتين مختلفتي التردد، ونتتبع صورة الموجة أو رسم الذبذبة الممثلة لهما. وفي الشكل (٥) بيان للنتائج: إن الموجة

«A» نتيجة لشوكة رنانة ترددها ٢٠٠ ذ/ث، والموجة «B» نتيجة لشوكة رنانة أخرى ترددها ٦٠٠ ذ/ث. والسؤال هنا: إذن ماذا عن الموجة «C» في هذا الرسم التوضيحي؟ إن الموجة «C» ليست موجة جيبية بسيطة، وهي لذلك لا تمثل نغمة بسيطة، ومن ثم لم تنتجها شوكة رنانة ثالثة. لكن تردد الموجة «C» هو ٢٠٠ ذ/ث، وهذا يعني أن صوتها يسمع بنفس درجة الموجة «A»، فهل الموجتان «A» و «C» تمثلان لأبصارنا نغمة واحدة؟ أم أن الأمر على خلاف ذلك؟.

حقيقة الأمر أن الموجة «C» هي حاصل الموجتين «A» و «B». إنها النتيجة المؤلفة منهما معاً.



شكل ٥ . رسم ذبذبي لشوكتين رنانتين

ومن الممكن - رياضياً ومن خلال حساب بالغ الطول والتعقيد - أن نتوصل إلى الحكم بأن الموجة «C» هي بالفعل مركبة من موجتين: تردد إحداهما ٢٠٠ ذ/ث وتردد الأخرى ٦٠٠ ذ/ث. وفي الرسم الذبذبي (٥)

نستطيع أن نركب الموجة «C» تركيباً هندسياً بجمع الموجتين «A» و«B» على هذا النحو:

$$ab + ac = ad \quad \text{أو} \quad ef - gh = gi$$

وهكذا في أي نقطة نختارها. ودرجة النغمة المسموعة التي تمثلها الموجة «C» هي ٢٠٠ ذ/ث، أي أنها نغمة مماثلة للنغمة المسموعة التي تمثلها الموجة «A». وتطابق هذه الحقيقة القاعدة الأكوستيكية التي تقرر أن الدرجة المدرَكة لأي نغمة تساوي القاسم المشترك الأعظم لكل الترددات التي تتألف منها هذه النغمة بالفعل. ونظراً لأن القاسم المشترك الأعظم للترددين ٢٠٠ و ٦٠٠ هو ٢٠٠ - لذلك تتحدد درجة الموجة «C» أكوستيكيا بالتردد ٢٠٠ ذ/ث. وحينئذ علينا أن نسائل أنفسنا: ماذا عن الموجة «B» في هذا الاندماج المؤلف من الموجتين «A» و «B» الذي نتيجته «C». تُرى هل تمضي الموجة «B» هكذا ببساطة دون أن تترك أثراً؟.

إن هذا صحيح - على الأقل - من حيث الدرجة. ولكن شكل كل من الموجتين «A» و «C» - من جهة أخرى - مختلف كل الاختلاف عن الآخر حتى إن المرء ليدهش: كيف تكون هاتان الموجتان - إذا صرفنا النظر عن الدرجة - ممثلتين حقاً لنغمة واحدة؟. إن الجواب أنهما لا تمثلان نغمة واحدة، وأن للموجة «B» دوراً في تكوين الموجة «C» ينشأ عنه أن تختلف الموجة «C» كل الاختلاف عن الموجة «A» باستثناء اتفاقهما في الدرجة. ولننظر لنعرف ما يكون إسهام الموجة «B»، وفي أي مظهر تختلف «A» عن «C» من الوجهة الأكوستيكية.

إن الدرجة - ولاسيما درجة الأساس *fundamental pitch* وهي التردد الذي تسمع به نغمة مركبة - ليست إلا مكوناً من مكونات النغمة، إلا أنها المكون الحاسم حين يكون اللحن *melody* هو موضع اهتمامنا. غير أننا جميعاً نعلم أن «الاتحاد» بين النغمات في الدرجة لا يلزم عنه الاتحاد في

الآثار السمعية إذا استثنينا الدرجة. ولذلك تصدر النغمات الواحدة أصواتاً مختلفة إذا عزفتها آلات مختلفة أو تغنت بها أصوات مختلفة. ولو أن الأمر كان على خلاف ذلك لما كان ثمة جدوى لاستخدام أوركسترا تستطيع الآلات المختلفة فيه أن تؤدي لحناً واحداً. كما أنه لن يكون ثمة اختلاف إذا ما أدى مغنيان مختلفان أو أكثر لحناً واحداً. ولو كانت الدرجة هي الخاصية الوحيدة التي تميز العزف الموسيقي لتساوى في الإجادة كل المغنين الذي يحفظون لحناً من الألحان حفظاً جيداً، ولَمَا تميزت أصوات بعضهم من بعض في أداء اللحن الذي يعهد إليهم به، ولَمَا كان هناك فرق بين أن يُعزف اللحن الواحد في الأوركسترا باستخدام الكمان والكلارينيت أو الكمان والهورن الفرنسي، أو أن يقوم بعزفه أربع من آلات من الكمان. ويبقى الآن أن نحدد العوامل المسؤولة عن تنوع نغمات الآلات والأصوات التي تعزف بدرجة واحدة.

إن الاختلاف بين الموجتين «A» و «C» كما يوضحه الشكل (٥) هو اختلاف في شكل الموجة. ولذلك يقال من منظور الرسم الذبذبي إن في صورة الموجة أو شكلها *profile* إشارة إلى خاصية أخرى غير خاصية الدرجة تتميز بها هذه الموجة عن غيرها. وهذه الخاصية تسمى أكوستيكيا نوع النغمة *quality of the tone*. الآن يبدو إسهام الموجة «B» في تشكيل الموجة «C» واضحاً. إن الموجة «B» لا تؤثر في طول الموجة «C»؛ ولكنها تؤثر في الشكل أو «البروفيل» الذي تظهر به كل ذبذبة من ذبذباتها؛ أي أنها لا تؤثر في الدرجة ولكن في نوع النغمة المركبة الناتجة. ويمكن - بعبارة أخرى أن نقول: إن من الممكن أن تكون الموجتان «A» و «C» تمثيلاً لنغمتين متحدتين في الدرجة تعزفهما آلات موسيقية مختلفة، أو يؤديهما مغنيان مختلفان (وقد تغاضيت هنا عن الحقيقة التي تؤكد أن معظم الآلات الموسيقية وأصوات المغنين تصدر بالفعل نغمات ممعنة في شدة التركيب إلى حد بعيد).

الفصل الثالث

الرسوم الذبذبية

الموجة «C» هي تركيب مؤلف من الموجتين «A» و «B» - وفي إمكاننا أن نحسب خصائصها الأكوستيكية بجمع مُكَوِّنَتيها، كما أن في إمكاننا بطريق عكسية وبحساب شبيه بذلك الحساب أن نحلل الموجة «C» إلى مُكَوِّنَتيها «A» و «B». ولابد أن تكون هاتان الموجتان منحنيين جيبيين كما نعلم. وتسمى هذه العملية **التحليل التوافقي** *harmonic analysis*. والهدف منها إذن هو تحديد الترددات التي تتكون منها الموجة المركبة. وتقودنا نتيجة التحليل التوافقي إلى بيان يوضح تردد **نغمة الأساس** *fundamental*؛ أي الدرجة التي تدرك بها الموجة، ويوضح أيضاً ما تشتمل عليه الموجة المركبة من **نغمات عليا** *over tones* أو **نغمات توافقية** *harmonics*؛ سواء من حيث عددها أو ترددتها. (وفي المصطلح الأكوستيكي تسمى نغمة الأساس **النغمة التوافقية الأولى** *first harmonic*، والنغمة التي تلي نغمة الأساس تسمى **النغمة التوافقية الثانية** *second harmonic*، التي هي في الوقت نفسه **النغمة العليا الأولى** *first over tone*. ويمضي المصطلح على هذا المنوال، فتسمى النغمة التوافقية الثالثة بالنغمة العليا الثانية.. وهكذا). وتكون النغمات العليا دائماً مضاعفات صحيحة لتردد نغمة الأساس. ومن المفهوم ضمنياً أنها من حيث القوة تكون أضعف من نغمة الأساس، غير أن قوتها لا تتناقص بالضرورة في تناسب عكسي بمقدار بعدها عن نغمة الأساس من حيث الذبذبات. وقد علمنا أن شكل «أي بروفيل» النغمة المركبة لا يتحدد فقط باشتماله على الترددات المختلفة، ولكن يتحدد أيضاً بخاصية الاتساع *amplitude* التي تميز هذه الترددات. والأمر كذلك بالنسبة لنوع النغمة *quality*، فهو يعتمد على توزيع القوة على الترددات الداخلة في تكوين النغمة المركبة. والتشكيل الذي يتخذه توزيع القوى على الترددات هو بطبيعته

صفة ملازمة للنغمة، ومن ثم فهو يرجع إلى الخصائص الفيزيائية للجسم المهتز، وإلي الطريقة التي يتم إثارته بها.

غير أن هذه النغمة المبدئية (التي تصدر مثلاً عن الشفتين الصوتيتين أو وتر الكمان أو قصبة الكلارينيت) يمكن أن تتعرض لتعديلات أخرى قبل أن تصل إلى آذاننا عن طريق مرورها خلال تجاويف الرنين والترشيح، وكذلك عن طريق التقوية (كما يحدث مثلاً في تجويفَيْ الفم والأنف أو جسم الكمان أو الالتواءات الحلزونية في البوق). وسأعالج هذه الظواهر في مكانها المناسب.

وإذا أضفنا في الشكل (٥) نغمات عليا أكثر من ذلك عند مضاعفات ٢٠٠؛ أي عند ٤٠٠ ذ/ث و ٨٠٠ ذ/ث و ١٢٠٠ ذ/ث مثلاً فإن التردد الأساسي للموجة سيظل ٢٠٠ ذ/ث؛ إذ إن هذا التردد لايزال القاسم المشترك الأعظم للترددات الموجودة. ولكن نوعية الموجة *quality* ستكون مختلفة كل الاختلاف عن تلك التي مثلناها بالموجة الأصلية «C»؛ بسبب ما طرأ من تعديل على تكوينها التوافقي. وطبيعي أن رسم الذبذبة الناتج عن إضافة مجموعة الترددات الجديدة التي دخلت إلى تكوينها لن يكون مماثلاً بحال لرسم الموجة «C».

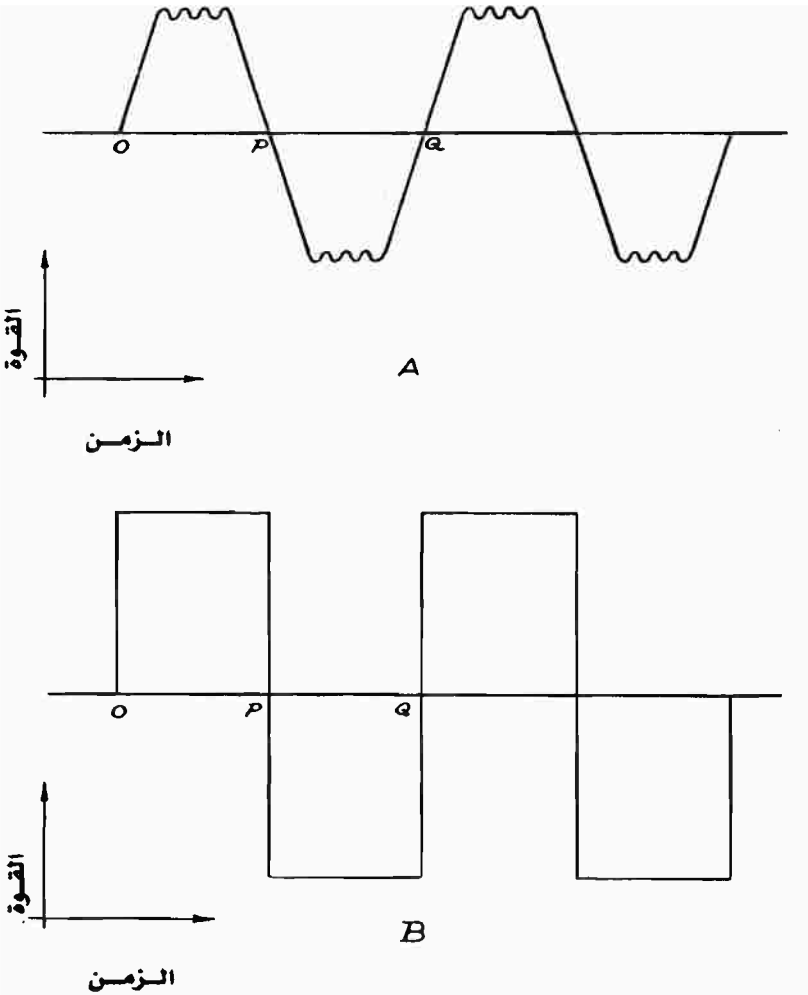
أما إذا اكتشفنا عن طريق التحليل التوافقي أن هناك نغمة معينة تشتمل على توافقيات عند ٤٠٠ ذ/ث و ٦٠٠ ذ/ث و ٨٠٠ ذ/ث و ١٢٠٠ ذ/ث وكانت تشتمل - بالإضافة إلى هذه التوافقيات - على نغمة توافقية أخرى عند ٣٠٠ ذ/ث فعلينا أن نعلم بداهة أن القاسم المشترك الآن هو ١٠٠، وهذا يجعل التردد الأساسي لهذه النغمة المركبة ١٠٠ ذ/ث؛ أي أنه أقل من التردد ٢٠٠ ذ/ث بطبقة صوتية واحدة أو أوكتاف واحد). وينبغي هنا التنبيه إلى ملاحظة مهمة؛ هي أن التردد ١٠٠ ذ/ث الذي ندركه أكوستيكيا ليس موجوداً بين الترددات الداخلة في تكوين النغمة. ووفقاً لهذه الحقيقة يكون من الممكن سماع النغمة المركبة بتردد لا يكشف عنه التحليل التوافقي، أو - بعبارة أخرى- إن ما نسميه بالتردد الأساسي - الذي هو مسؤول عن الدرجة

المسموعة للنغمة المركبة - ليس من الضروري أن يكون موجوداً بين مكونات النغمة المركبة.

وهنا يبرز سؤال: هل تخضع كل الموجات للتحليل التوافقي؟ والجواب نعم! شريطة أن تكون الموجات مكررة *repetitive* أي دورية منتظمة تمام الانتظام *periodic*. وهذا يعني أن الدورة O - Q في الرسوم التوضيحية التي أوردتها ينبغي أن تتكرر خلال فترة من الزمن، وعلى مسافة واحدة، وبصورة واحدة للذبذبة، وبنفس «البروفيل». والصوت التي يجب أن يجري تمثيله على هذا النحو بموجة منتظمة يسمى نغمة *tone* وهو مختلف عن الضجة *noise* التي لا يمكن تمثيلها بهذه الطريقة؛ لأنها تتكون جزئياً على الأقل من ترددات عشوائية. وهذه هي العلة الفيزيائية في أن النغمة صوت ذو درجة قابلة للقياس، على حين أن الضجة ليست كذلك.

وما يسمى بالموجات المربعة *square wave* هو في حقيقة أمره حاصل جمع عدد من الموجات الجيبية. ويمثل الشكل (٦ أ) حاصل جمع عدد قليل من المكونات قد يكون أربعة أو خمسة. وكلما أضيف المزيد من المكونات كان شكل الموجة المركبة الناتجة أقرب شبها بالشكل «٦ ب». (ولكي نحصل على الرسوم الذبذبية الخاصة بالموجة السريعة علينا أن نستخدم التوافقيات الفردية فقط؛ أي الثالثة والخامسة والسابعة...إلخ). وتكرارية هذه الأشكال وحدها هي الضمان الكفيل بقابليتها لأن تحلل إلى موجات جيبية تدخل في تكوين النغمة المركبة.

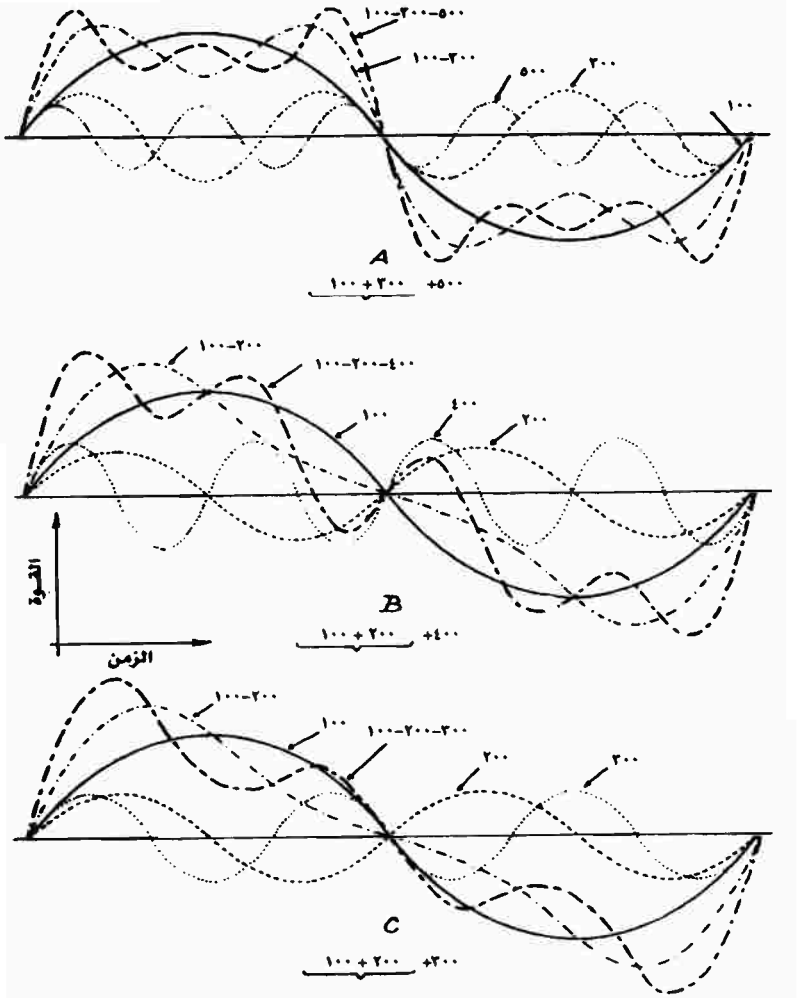
والآن إذا كان لدينا موجة تتكرر بطريقة مثالية فإنها يفترض بطبيعة الحال أن تستمر في الجو إلى الأبد؛ ذلك لأنها لا تتضمن أي قوة داخلية تغيرها أو توقفها مادامت قد أخذت في التحرك. (ويمكن للمرء في هذه الظروف أن يتخيل نفسه وهو يقتنص موجة صوتية كانت تسير لآلاف السنين. وفي هذه الحال ستكون خطبة لديموستين ألقاها عرضاً أو محادثة في حانة



شكل ٦ . موجات مربعة

من حانات البومبي القدماء، ذات أهمية عظيمة للمشتغل بعلم اللغة التاريخي). غير أن الظروف في عالم الطبيعة ليست مثالية من الناحية الرياضية على الإطلاق، إذ إن الموجات الصوتية تفنى بسبب فقدان الطاقة، حيث تعترضها عوائق لا حصر لها، تتفاوت درجات مرونتها زيادة ونقصاً. ومن بين هذه العوائق ما هو موجود في كل مكان ولا يمكن تجنبه؛ وهو الهواء نفسه. ومع ذلك فالهواء ليس إلا عارضاً طارئاً. إنه - من حيث المبدأ - المركبة الحتمية التي يستقلها الصوت. إذ إن الصوت - خلافاً للضوء - لا ينتقل في فضاء مفرغ من الهواء. غير أن ما يعرض لقوة الأصوات من تغير وتناقص عند التواصل بالكلام إنما يحدث بطريقة تدريجية أيّاً ما كانت سرعة التغير والتناقص.

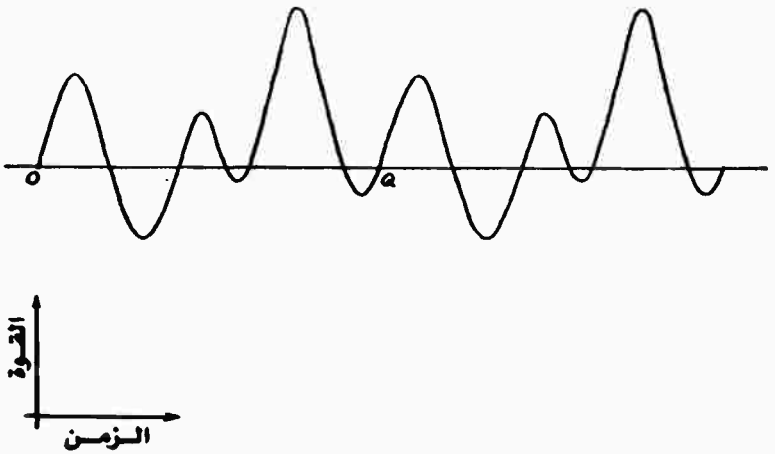
ولكي نحقق الأهداف العملية التي تهدف إليها دراسة الجانب الأكوستيكي من أصوات الكلام يمكن أن نغض الطرف عن فكرة فناء الموجة، وأن نعالجها رياضياً كما لو كانت موجة مثالية غير متناهية وغير مضمحلة. وهذا هو في الواقع ما قد فعلته في الأمثلة والأشكال التوضيحية السابقة. وتتميز جميع الرسوم الذبذبية التي نوقشت حتى الآن بأنها - بالإضافة إلى تكراريتها - تشترك في صفة معينة، وأعني بهذه الصفة أن جميع المكونات التي تتألف منها النغمة المركبة تبدأ في لحظة واحدة، وفي نقطة صفر مشتركة على البعد الزمني للرسم الذبذبي. ونظراً لأن التوافقيات - عند تمثيلها - هي مضاعفات لنغمة الأساس من حيث التردد؛ لذلك ينبغي أن يصل جميعها مرة أخرى إلى نقطة صفر مشتركة على خط الأساس *baseline* في نهاية كل نصف ذبذبة من ذبذبات نغمة الأساس (بقطع النظر عما إذا كانت نغمة الأساس بالفعل جزءاً من النغمة، وممثلة في تصوير الذبذبة أو لا). ولذلك فإن النصف الثاني من الذبذبة في نغمة الأساس ليس صورة سلبية معكوسة للنصف الأول فحسب، بل إنه في ذاته أيضاً تكرار للموجة المركبة التي تنتجها كل هذه التوافقيات معاً. ويوضح الشكل (٧) هذا الأمر؛ حيث تظهر توليفات



شكل ٧ . موجة مركبة نسقية

متنوعة من نغمة الأساس مع نغمات توافقية فردية وزوجية، ومزيج من الفردية والزوجية، بالإضافة إلى الموجات المركبة الناتجة عن هذه التوليفات على ما هو مبين بالشكل.

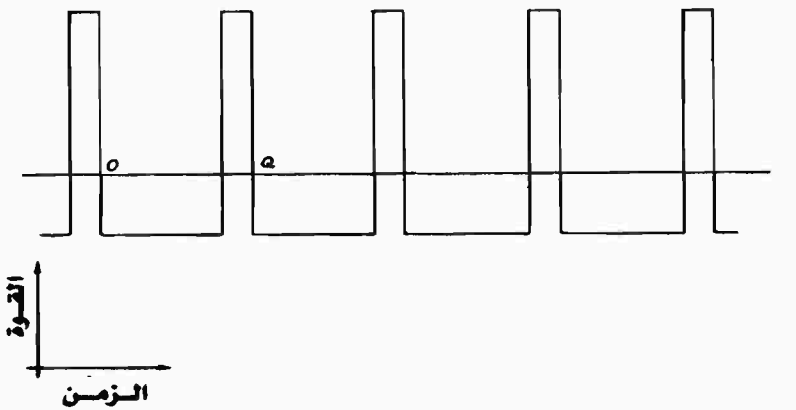
ويمكننا الآن أن ننشئ موجة مركبة لا يلتقى مكونان من مكوناتها على خط الصفر، وهذا هو ما يوضحه الشكل (٨).



شكل ٨ . موجة مركبة غير منتظمة

(وسنناقش المتطلبات الفيزيائية لإنجاز مثل هذا الرسم الذبذبي في الفصل الآتي). وعلى الرغم من أن هذا الشكل يشبه الأشكال السابقة في أنه موجة مكررة (تقع حدود ذبذباتها مرة أخرى بين النقطتين O و Q)، وهي لذلك قابلة لأن تحلل من حيث الرسم إلى عدد من المنحنيات الجيبية - أقول على الرغم من ذلك كله فإن ذبذباتها الكاملة لا تنقسم إلى نصفين يعكس كل منهما الآخر. أو - قل بعبارة أخرى - إن هذا الشكل خلافاً للأشكال السابقة يفتقد النقطة P على خط الصفر، تلك التي تقع في منتصف المسافة ما بين O و Q، وهي التي تعبرُ عندها الموجة خط الأساس وتكرر نفسها بعد ذلك بطريقة عكسية.

ويمثل ما يسمى بالموجة المستطيلة *rectangular wave* التي تظهر في الشكل (٩) حالة متطرفة من هذا النوع. وإن كان من الواضح أننا مازلنا نعالج موجة مكرورة منتظمة (لاحظ الدورة O Q)؛ ومن ثم فالشكل يمثل نغمة يمكن أن تخضع للتحليل التوافقي. وأنا أسميها حالة متطرفة لأن الجزء الواقع من الموجة فوق خط الأساس يستغرق $\frac{١}{١٠}$ من الدورة، على حين يستغرق الباقي $\frac{٩}{١٠}$ (لاحظ أن الرسم الذي أوردته خال من التدريج). ونحتاج لكي نحصل على هذه الصورة «البروفيل» إلى تنظيم التوافقيات والقوى (الاتساعات *amplitudes*) بالطريقة المبينة في القائمة (٢).



شكل ٩ . موجة مستطيلة

تُرينا هذه القائمة أنه إذا حددنا قوة النغمة التوافقية الأولى، أو نغمة الأساس، بالواحد الصحيح فإن النغمة التوافقية السادسة تظل - من حيث الشدة - تمثل أكبر من نصف قوة الأولى. وهذا يعني بالطبع أن النغمات العليا الخمس الأُوَل - على الأقل - تسهم بقسط كبير في تحديد نوعية النغمة، أو - إذا تكلمنا من جهة الرسم - في تحديد بروفيل الموجة على الرغم من أنها

لا تؤثر أي نوع من التأثير على الدرجة. لاحظ أيضاً في هذا التنظيم الخاص أن النغمات التوافقية: العاشرة والعشرين والثلاثين لا وجود لها، وكذلك يكون الحال مع النغمتين: الأربعين والخمسين..إلخ لو أن عدد التوافقيات في القائمة زاد بما يكفي لتحقيق مزيد من البيان. وعدد النغمات التوافقية الموجودة - كما يبدو في الشكل (٦) - لا نهاية له من الوجهة النظرية.

وحينما قلت منذ قليل إن النغمات العليا لا تأثير لها على درجة نغمة من النغمات كنت أتكلم - تحديداً - بلغة الفيزياء (أي بقياس التردد مستخدماً وحدة «الذبذبة في الثانية»).

أما إذا حُوِّلتُ المسألة إلى مستوى الإدراك معبراً عن نفسي بمقياس مل *mel* فقد صار لزاماً عليّ أن أقول: إن اختلاف تركيب النغمات العليا ينتج عنه بالتأكيد إدراك مختلف للدرجة حتى وإن بقي تردد نغمة الأساس كما هو دون تغيير. وهكذا صرنا وجهاً لوجه مرة أخرى أمام ضرورة رؤية الوقائع الأكوستيكية مع توجيه الاهتمام الواجب للحقيقة النفسية - الأكوستيكية كما تتمثل في إدراك السامع.

ولمثل هذه الأسباب فإني حين تحدثت عن إضافة نغمات، والحصول بذلك على موجة مركبة يكون تردد نغمة الأساس هو القاسم المشترك الأعظم للترددات الداخلة في تكوينها - أقول إنني حين تحدثت عن ذلك كُنت على صواب من الوجهة الرياضية.

أما إذا أردت الحصول على نتائج مسموعة تدعم القضية الأكوستيكية، ولكي أسمع بالفعل نغمة لها الدرجة التي أتوقعها فإن هناك حقيقة مهمة لابد أن أوليها اهتمامي: هي أن نغمات الأساس التي استخرجتها بالحساب دون أن أعير مزيداً من الاهتمام لموقف النغمات العليا ليست إلا نغمات مصحوبة فعلاً بعدد كبير من التوافقيات العليا التي تتقاسم توزيع الطاقة فيما بينها

بطريقة مناسبة، وإلا فلن يكون هناك اتفاق بين الحسابات الرياضية والإدراك؛ أي أن ما ندركه بالمل لن يتفق مع ما نحسبه بالذبذبة في الثانية.

وأياً ما كان الأمر فعدم التناسب المحتمل بين بيانات المِلّ والذبذبة في الثانية في أصوات الكلام ذو أهمية ضئيلة. ويرجع ذلك **أولاً**: إلى أن الدرجة الخالصة غير مهمة في الكلام. **وثانياً**: لأن أصوات الكلام ذات الدرجة أو التردد القابل للقياس تشتمل في جميع الأحوال على عدد من النغمات التوافقية العليا تمتاز بالكثرة والقوة.

* * *

الفصل الرابع

النغمة الحنجرية

وصلت بالمناقشة إلى الرسوم الذبذبية التي تمثل نغمات بالغة التركيب؛ لأن النغمة الصادرة عن الشفتين الصوتيتين - وهي النغمة الحنجرية *glottal tone* - هي من هذا النوع، وهذا الأمر هو محل اتفاق بين معظم العلماء. وقد رجح بعض العلماء أن الرسم الذبذبي للنغمة الحنجرية يقع قريباً من الموجة المستطيلة المبينة في الشكل (٩). ولكن من المسلم به أن هذا الرسم الذبذبي مع تكوينه التوافقي (القائمة «٢») هو تخميني إلى حد كبير. وغياب المعرفة اليقينية هنا ليس مثيراً للدهشة؛ ذلك لأن النغمة الحنجرية ليست طيعة للبحث الأكوستيكي، إذا ما أردناها خالصة على النحو الذي تصدر به من الشفتين الصوتيتين، وقبل أن تتأثر بالتعديلات التي تدخلها عليها تجاويف الرنين الواقعة فوق الحنجرة في الأنف والفم. وقد بُذِلت كل أنواع المحاولات لإيلاج مكبرات للصوت، سواء كانت من خلال الفم أو داخل الحنجرة مباشرة من الخارج (مع الأشخاص الذين أجريت لهم عمليات فتح الحنجرة)، ولكن جميع هذه المحاولات تؤدي إلى إنتاج غير طبيعي للنغمة(٢٢).

وقد تخلى العلماء إلى حد كبير عن النظرية القائلة بأن كل اهتزازة من اهتزازات الشفتين الصوتيتين ترجع إلى عملية عصبية مستقلة، وعلى هذا القول يكون هناك مركز عصبي يتحكم مباشرة في التردد أو الدرجة بالنسبة لأي نغمة من النغمات. ويبدو من المحقق أن البديل لهذه النظرية هو القول بأن التردد الحنجري ينتج عن التأثيرات المركبة للضغط في منطقة ما تحت الحنجرة وكتلة الشفتين الصوتيتين وتوترهما، بالإضافة إلى وجود تنويعات

وتغييرات في التردد تحكمها التغذية الراجعة *feed back*؛ أي استماع المؤدي لنفسه واستخدامه إحساسه الواعي *kinesthetic* لضبط أدائه.

وقد التقطت أشرطة سينمائية ممتازة بالحركة البطيئة (٤٠٠٠ صورة في الثانية) للشفتين الصوتيتين في حال عملهما، كما أجريت تجارب كثيرة بطريقة وضع القساطل داخل الحنجرة والمرئ لقياس الضغط تحت الحنجرة أثناء إصدار الصوت. وبذلك عرفنا شيئاً كثيراً عن أنواع التحركات التي تقوم بها الشفتان الصوتيتان، وعن ردود فعلهما إزاء التنوع في الضغط الواقع تحت الحنجرة وفوق الحنجرة، وعن علاقة الاهتزاز بنوع الصوت الصادر منها وغير ذلك. غير أن العلماء لايزالون على الرغم من ذلك - وحتى هذه اللحظة - بعيدين عن معرفة كل ما يحتاجون إلى معرفته عن النغمة الحنجرية.

والجهل بكثير من الحقائق الأكوستيكية عن النغمة الحنجرية هو شيء يؤسف له، لكنه من حسن الحظ أن هذا الأمر لا يتوقف عليه مصير أهدافنا البحثية الراهنة. وربما يكفينا في هذا المقام أن تعرف حقيقة تفصيلية وحيدة يبدو أن الأكوستيكيين متفقون عليها، وإن كان البرهان المختبري الكامل والإحصاءات الرياضية بشأنها لا تزال منعدمة، وخلاصة هذه الحقيقة أن النغمة الحنجرية شيء ذو تركيب بالغ التعقيد؛ أي أنها تتكون من عدد كبير من النغمات التوافقية، وأن كثيراً من هذه النغمات التوافقية على حظ من القوة؛ ومن ثم فهو يسهم إسهاماً مهماً في تحديد نوعية النغمة الحنجرية.

ومن المعروف أيضاً أن النغمات التوافقية المكونة للنغمة الحنجرية لا تبدأ كلها في لحظة واحدة. ومرد ذلك إلى وضع الشفتين الصوتيتين في مواجهة تيار الهواء. إن تحريك تيار الهواء للشفتين الصوتيتين ينتج عنه أن تبدأ الأجزاء السفلى منها بالاهتزاز قبل الأجزاء العليا. ولهذا لو أننا قمنا بعمل رسم ذبذبي للنغمة الحنجرية لجاء هذا الرسم مشابهاً لما في الشكلين

(٨) و (٩)؛ حيث نجد أن نصف الذبذبة في كل منهما ليس صورة منعكسة لنصفها الآخر.

ومن المتوقع أن النغمة التي تكون غنية جداً بالتوافقيات يكون في الإمكان تعديلها في يسر من حيث نوعيتها وقوتها، وذلك من خلال التأثيرات التي يحدثها الرنين والترشيح والتقوية. وهذه الظواهر التي سنعالجها -بالتفصيل - ناتجة عن خصائص غرف الرنين من حيث الشكل والحجم، وهي الغرف التي تمر بها النغمة قبل أن تصل إلى أذن السامع. وتقوم بهذه المهمة في جهاز النطق البشري تجاويف ما فوق الحنجرة *supra - glottal cavities*، وتستطيع هذه التجاويف في سرعة وخفة أن تقوم بتعديل ترددات معينة من بين الترددات التي تشتمل عليها النغمة الحنجرية، وذلك بأن ترشحها أو تقويها أو تضيف إليها عنصر الرنين. وعلة ذلك هو ما تتمتع به الأعضاء المكونة لهذه التجاويف من قدرة عظيمة على الحركة.

ويتميز تكوين النغمة الحنجرية وتركيب أعضاء النطق بأن أقل التحركات التي تقوم بها هذه الأعضاء كاف لإنتاج تنوعات أكوستيكية ذات أهمية، وذات قابلية للإدراك من حيث النوعية والدرجة. ولذلك كان عدد التنوعات الممكنة هائلاً، ولكن كل لغة تكتفي من هذا المجموع الهائل باختيار مجموعة صغيرة من الفئات الصوتية المتمايزة، أو من الصوتيمات المجهورة بما هي صوتيمات مشتملة على نغمة حنجرية.

* * *

الفصل الخامس

الطَّــوْر

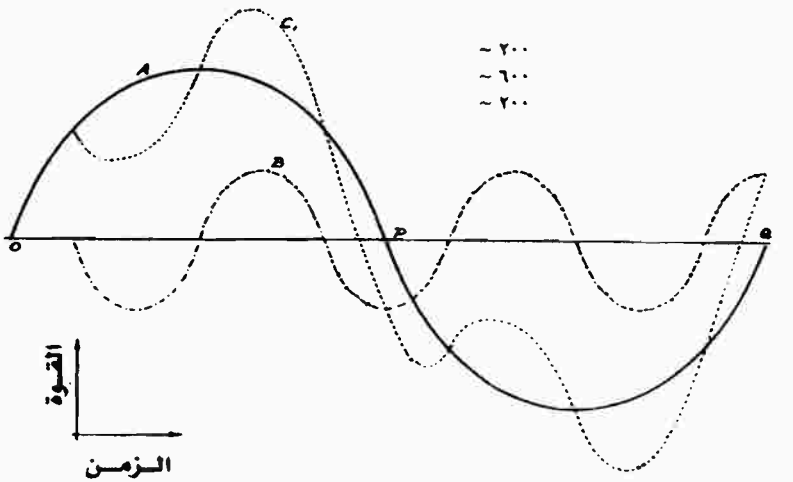
سبق أن ذكرت أنه في الحالات التي لا تبدأ فيها جميع مكونات النغمة المركبة في نقطة صفر واحدة - أي في وقت واحد - حينئذ نحصل على رسوم ذبذبية لموجات مكررة ليست أنصافُ ذبذاتها صورةً عكسية لأنصافها الأخرى. ويقودنا هذا الأمر إلى أن نتأمل خاصية في رسم الذبذبات أهملنا علاجها حتى الآن، وتلك هي خاصية **الطَّوْر** *phase*.

من الممكن أن تبدأ الموجتان «A» و «B» في الشكل (٥) عملية الاهتزاز في وقت واحد. غير أن هذا الفرض هو فرض تحكمي وإن كان ممكناً؛ فالحقيقة قد تكون كذلك ولكن ليس من الحتمي أن تكون كذلك. والحق أني ذكرت في الفصل الرابع أن النغمة الحنجرية هي إحدى الحالات التي لا يشيع فيها هذا الشرط. ونحن إذا أعدنا التجربة الموضحة في الشكل (٥) بطريقة مختلفة؛ فَبدلاً من أن نثير كلتا الشوكتين في وقت واحد قمنا بتأخير طرق الشوكة الثانية جزءاً من الثانية يكون أقل من المدة التي تتطلبها الشوكة «A» لكي تتم نصف ذبذبة. بعبارة أخرى إذا بدأنا رسم الذبذبة الخاصة بالموجة «B» في نقطة تقع ما بين بداية ونهاية نصف ذبذبة للموجة «A» - أقول إننا إذا فعلنا ذلك فسنحصل حينئذ - بإضافة «A» إلى «B» - على الموجة «C_1» التي يبينها الشكل (١٠)، وهي موجة تختلف بالضرورة اختلافاً واضحاً عن الموجة «C» المبينة في الشكل (٥). إننا بذلك لا نكون قد غيرنا الموجتين المكوِّنتين، ولكنا نكون قد غيرنا الطَّوْر فقط.

والسؤال الآن يدور على الموجتين «C» و «C_1» اللتين تختلفان في الطور وفي الصورة «البروفيل»، وتتفقان فيما سواهما: هل هاتان الموجتان تُسْمعان متماثلتين أم لا؟. أو لِنضع السؤال بمصطلحات أخرى فنقول: هل الاختلاف

في الطور - إذا ما بقيت جميع العوامل الأخرى متساوية - ينتج عنه اختلاف لا يقتصر على الاختلاف في الرسم الذبذبي وإنما يتجاوز ذلك إلى الاختلاف في الصوت المدرك بالسماع أيضاً؟

والجواب الذي من السهل أن يكتشف بالتجربة هو أن النغمتين اللتين تمثلهما «C» و «C_1» تُسمَعان متماثلتين تماماً من حيث الدرجة والنوعية كلاهما. (وقد يكون للطَّوْر في ظروف خاصة لا تعنينا هنا تأثير على النغمة؛ فإذا كان لدينا نغمتان داخلتان في تكوين نغمة مركبة، وكانتا متساويتين تماماً ومتضادتين تماماً في الطور؛ بمعنى أن الثانية تبدأ عند نهاية نصف ذبذبة الأولى - فحينئذ ستلغي كل منهما الأخرى إلغاء لا يقتصر على الرسم الذبذبي بل يتجاوز ذلك إلى إلغائها أكوستيكيا أيضاً، وستكون النتيجة التي تبدو غريبة هي السكون؛ ومن ثم فإن الاختلاف في صور الرسوم الذبذبية «أو البروفيل» الممثلة لتردد واحد ربما لا يقتصر على تمثيل فروق في النوعية يمكن إدراكها بالسمع فقط، ولكنه قد يتجاوز ذلك إلى تمثيل فروق في الطور لا تدرك بالسمع)[٢٣].



شكل ١٠ . موجة مركبة لا نسقية

من الواضح إذن أن آذاننا وأعصاب السمع لدينا حين تنقل إلينا الفروق الخاصة بالتردد والاتساع، أو الدرجة والعلو في نغمة الأساس والنغمات العليا لموجة مركبة - فإننا حينئذ لا ندرك بالسمع خاصية الطور، ولا نحكم بوجودها، وعلى ذلك فإن الانطباع السمعي حين يخضع في مخ الإنسان لعملية تُساوي عملية التحليل التوافقي لموجات الهواء التي تصل إلى آذاننا، حيث تحدد لنا هذه العملية درجة النغمة ونوعيتها - فإن المخ يقوم تلقائياً بإجراء تعديلات وتصحيحات تبطل مفعول الطور، وتجعله غير مدرك بالسمع.

هل يعني ذلك أن الرسم الذبذبي تصوير زائف للحقيقة؟

الجواب: لا. إن ذلك لا يعني أكثر من أن الحقيقة الأكوستيكية للصوت الذي يمثله الرسم لا تتفق والحقيقة الأكوستيكية التي ندركها بالسمع، أو هو يعني - بعبارة أخرى - أن آلة الراسم الذبذبي *oscillograph* لا تقدم لنا أي معلومات أكوستيكية خاطئة، ولكنها مع ذلك لا تمدنا بالمعلومات التي هي الأهم من زاوية الإدراك السمعي العادي عند الإنسان. ولما كانت مهمتنا هنا أن نفحص كيفية إدراك الأصوات، وماهية الأصوات التي ندركها - لذلك كانت حاجتنا هي إلى آلة تعطينا معلومات وثيقة الصلة بهذا الجانب. وبناء على هذه المقدمات يكون الرسم الذبذبي الذي يحدد الطور رسماً يسجل ظاهرة الطور الفيزيائية تسجيلاً بصرياً مع أنها غير ذات علاقة بالسمع.

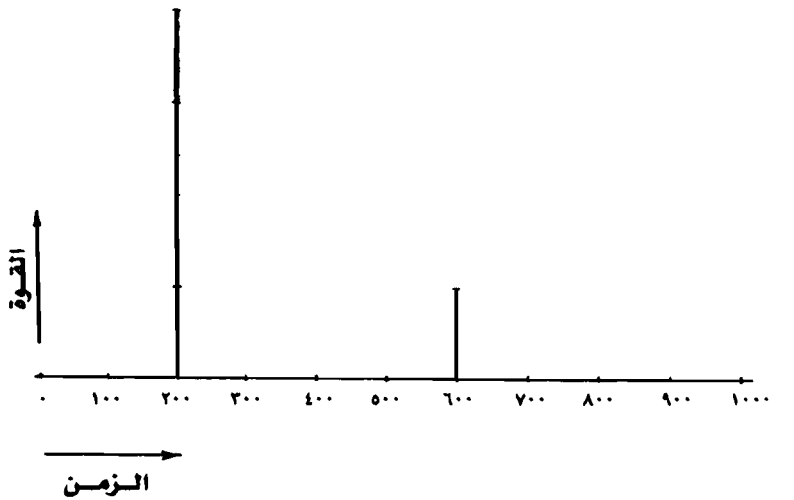
وقد يجد عالم الفيزياء نفسه في وضع له مسوغاته يود فيه أن يُحَصِّل معرفة مفصلة عن الطور. أما اللساني فهو أقل عناية بهذه الظاهرة. إنه - على العكس من ذلك - يود أن يكون على يقين من أن صورة الصوت التي ينظر إليها ليست متأثرة ولا خاضعة لظاهرة الطور بأكثر مما يتأثر بها ويخضع لها الإدراك والتمييز السمعي والعصبي للصوت. ونحن نعلم أن كليهما لا يتأثر بظاهرة الطور ولا يخضع لها على الإطلاق.

ومن ثم فإن وصف الصوت الكلامي وصفاً أكوستيكياً يرضاه اللساني بطبيعة مهنته يستلزم معلومات أقل مما يمدنا به الرسم الذبذبي الدقيق، وهنا يكون الطور هو الكمية الزائدة عن الحاجة. إن ما تتطلبه أهدافنا البحثية من أجل تقديم وصف كامل لأي صوت مركب هو بيان يوضح كمية القوة الموجودة في لحظة بعينها عند كل تردد من الترددات الواقعة داخل مجال السمع في الأذن البشرية الطبيعية. ويبدأ هذا المجال من ٢٠ ذ/ث إلى ٢٠٠٠٠ ذ/ث (أما عند الأطفال فيصل إلى ٤٠٠٠٠ ذ/ث). (وفي نطاق هذا المجال ليس من الضروري عادة بالنسبة لأهداف البحث اللساني أن نتجاوز ٨٠٠٠ ذ/ث تقريباً. بل لقد ثبت - بوجه عام - أن ٣٦٠٠ ذ/ث تمثل الحد الأقصى الكافي لتحقيق هذه الأهداف؛ إذ لا يخرج عن هذا الحد إلا بعض الترددات العشوائية العالية في الأصوات الاحتكاكية. لهذه الأسباب لن تتجاوز الرسوم الطيفية التي سأناقشها فيما بعد ٣٦٠٠ ذ/ث إلا في القليل من الحالات). ومثل هذا البيان الذي يوضح توزيع القوة قد زودتنا به - على سبيل المثال - القائمة «٢» السابق إيرادها.

بيد أن الغاية القصوى لي هي أن أصل إلى تصوير مرئي لأصوات الكلام، وأن أتوصل على وجه اليقين إلى تسجيل هذه الأصوات على محور الزمن، لكي تظهر - بالقدر المستطاع - أقرب ما تكون إلى الطريقة التي صدرت بها في تيار الكلام الواقعي. ولهذا فإن القوائم التي هي من النوع السابق لن تخدمنا في تحقيق هدفنا، لأنها تورد مكونات الأصوات منفصلة ومتتابعة، أو لأنها تورد مكونات تحتاج إلى وقت طويل يكفي لإجراء الحسابات عند أي عدد من النقاط التي يختارها الباحث على مدى مجموع الزمن الذي يستغرقه الصوت.

الفصل السادس
التكوين الطيفي

يقدم لنا الشكل (١١) إحدى الطرق المتبعة في تصوير الموجة المركبة. ولكي لا أجعل من قراءته مهمة بالغة التعقيد اخترت أن أمثل فيه الحالة المبينة بالشكل (٥).



الشكل ١١ : تكوين طيفي لموجة مركبة

(حيث لا يشتمل الشكل (٥) إلا على مكونين فقط)، وذلك بدلاً من تمثيل الحالة المبينة في الشكل (٩) (الذي يشتمل على ما لا حصر له من المكونات). ونحن نعلم أن الموجة «C» في الشكل (٥) تتكون من الموجتين «A» و «B»؛ ومن ثم فإن نقطتي القوة فيهما تقعان عند مستوى الترددين ٢٠٠ ذ/ث و ٦٠٠ ذ/ث. وقد أشير في الرسم إلى كمية القوة فيهما باتساع الموجة.

ويحدد علم الفيزياء الأكوستيكي كمية القوة *power* بأنها مربع اتساع الموجة *amplitude*. فإذا افترضنا أن اتساع الموجة ٢٠٠ ذ/ث هو ٢، وأن اتساع الموجة ٦٠٠ ذ/ث هو ١ - فسنحصل مع الموجة ٢٠٠ ذ/ث على كمية القوة ٤، ومع الموجة ٦٠٠ ذ/ث على كمية القوة ١. وعلى ذلك فإن الرسم الذي يتضمنه الشكل (١١) - حيث يتم تمثيل الذبذبات على المحور الأفقي وتمثيل القوة على المحور الرأسي - يشير فيه الخطان الرأسيان إلى كمية القوة الموجودة مع الترددين اللذين تتكون منهما الموجة «C». وإذا قمنا بإجراء العملية نفسها مع الموجة «C_1» فسنجد الشكل (١١) يمثل كلاً من الموجة «C» والموجة «C_1»، وذلك لأن الرسم لن يصور إلا تردد الموجة واتساعها. وهذا يعني أن المدركات المتماثلة تصورها لنا رسوم متماثلة. ومن هنا يعد هذا الرسم أكثر صدقاً من الرسم الذبذبي في تمثيله للحقيقة المسموعة التي تدركها أذن السامع، فهو يمدنا بالمعلومات المتعلقة بكمية القوة الموجودة مع الترددات المكونة للصوت، وهي المعلومات الوثيقة الصلة بموضوع الإدراك، كما أنه يهمل المعلومات المتعلقة بالطَّوْر، وهي المعلومات التي لا صلة لها بما نحتاج إلى معرفته. هذا الرسم الذي يقدمه لنا الشكل (١١) يسمى **التكوين الطيفي للصوت** *spectrum*.

غير أننا في عملية إنشاء هذه الصورة الطيفية فقدنا عنصر الزمن الذي هو موجود في الرسم الذبذبي. ومردُّ ذلك - بطبيعة الحال - إلى أننا لا نستطيع أن نصور في عملية التمثيل البياني ذي المحورين إلا بعدين اثنين: إما الزمن مع «بروفيل» التردد، وإما القوة مع «بروفيل» التردد. ولذلك فإن هذا النوع من الرسم الطيفي لا يقدم في ذاته إجابة عن السؤال الآتي: هل يُعَدُّ مثل هذا الرسم وصفاً كاملاً لنغمة مستمرة إلى ما لا نهاية (نظرياً)؟، وهل تشتمل هذه النغمة طوال زمن وجودها على هاتين القوتين مع هذين الترددين؟ أم أن هذا الرسم يصور لمحة عابرة تمثل حقيقة أكوستيكية لحظية بين

سلسلة من النغمات المتتابعة - المتقطعة أو المتصلة - ومن ثم تكون هذه اللمحة قد سجلت عَرَضاً في لحظة ساد فيها هذا التكوين الخاص المؤلف من هاتين القوتين مع هذين الترددين؟.

ونحن في استطاعتنا أن نركب شكلاً مناظراً ثلاثي الأبعاد؛ لكي نحتفظ أيضاً بالبعد الثالث الذي هو الزمن. ولكن نظراً لأن هدفنا هو الوصول إلى آلة تسجل الصوت على مسطح وليس في الفراغ فلا حيلة لنا إلا الرضا برسم بياني ذي بعدين. ومن الواضح أن كمية الزمن ستكون ذات أهمية جوهرية بالنسبة للأصوات التي تتابع في تغير سريع، مثل تلك التي يجري إنتاجها خلال تيار الكلام. ولذلك كان علينا أن نتنازل عن التسجيل الدقيق لواحدٍ من المحددين الآخرين وهما: التردد أو القوة. وهنا سنفضل بوصفنا لسانيين أن نُهْمل تدوين **القوة المطلقة** *absolute power* (وليس **القوة النسبية** *relative power*) مُؤْثِرين ذلك على إهمال تدوين التردد، وذلك للأسباب الآتية:

أولاً: لأن التدريج المطلق للعلو ليس كمية مميزة في اللغة. ولن يكون ذلك كذلك إلا إذا كانت هناك لغة تشتمل على سلسلة من الصوتيمات يختلف معناها المعجمي إذا ما صرخنا بها عن معناها إذا ما نطقنا بها بصوت أقل علو. (ومثل هذه اللغة [المتخيلة] يكون من المحال فيها مثلاً رفع صوت المذياع أو خفضه، وتستلزم من أجهزة الهاتف أن تصدر الكلام بالمستوى الطبيعي للعلو دون تغيير - وهناك فضلاً عن ذلك عقبة كؤود تتمثل في إلزام جميع المتكلمين بأن يجعلوا النطق الواحد للأحداث النطقية الواحدة على مستوى واحد من العلو، وهناك الموقف المضحك الذي ينشأ عن عدم التكافؤ في حدة السمع، وهو أمر لا مفر منه؛ ولذلك يصبح من المحال على إنسان ما أن يجعل نفسه مفهوماً من الجميع في وقت واحد. أضف إلى ذلك أن المتكلم سيكون مضطراً إلى تكييف علو نطقه حسب المسافة التي تفصله عن المكان

الذي يجد السامع فيه نفسه؛ ذلك لأن الذي يحدد وضوح النطق إنما هو علو الإدراك وليس علو إصدار الكلام. وفوق ذلك سيضطر السامع إلى أن يعيد تقدير العلو تبعاً لتقدير المسافة الفاصلة بينه وبين المتكلم).

ثانياً: لأن العلو النسبي - وهو ما يسمى بالنبر *stress* - ليس إلا مميزاً نسبياً في السياق، ولذلك فالقضية ليست هي كمية القوة الموجودة مطلقاً، ولكنها كمية القوة الموجودة زيادة ونقصاً في جزئية ما عند مقارنتها بجزئية أخرى. وسنرى أن في إمكاننا في الوسيلة التصويرية التي نقدمها أن نميز التوزيع النسبي للقوة على الترددات الموجودة دون أن نحتاج إلى إدخال بعد ثالث.

ولقد كانت جميع الوسائل المستخدمة في تصوير الصوت بوجه عام - والصوت اللغوي بوجه خاص - حتى عهد قريب من نوع الرسوم الذبذبية؛ بدءاً من الراسم الذبذبي الكهربي القديم (الكيموجراف) *kymograph*[٢٤]، وهو جهاز يتكون من قلم يحركه غشاء، وخطوط محفورة على الورقة الملفوفة المطلية بالسناج على النحو المبين في الشكل (٤). ثم انتهت الرسوم الذبذبية الحساسة التي تعمل بأشعة كاثود *cathod ray*[٢٥] (وينبغي أن نلاحظ أن الكيموجراف ينتج تسجيلات بصرية تمثل التنوع في الكمية الكلية لضغط الهواء أثناء النطق. أما الاهتزازات التي تظهر على الشاشة الذبذبية فترسم صورة لحركة جزيء واحد من جزيئات الهواء). ومن الصعب أن نجرد من كل هذه الوسائل التصويرية ما يهمنا من معلومات لسانية؛ وذلك لأن هذه الوسائل تتضمن بحسب طبيعة طريقة صنعها مادة كثيرة لا أهمية لها من المنظور اللساني. ففيها تظهر خاصية «الطوّر» كما أن درجات الصوت عند الأفراد تقوم بدرور كبير في تشكيل الصورة، مع أنها - بطبيعة الحال - غير مهمة في اللغة، حيث لا فرق بالاعتبار اللغوي بين أن يُنطق الكلام بصوت ذي درجة

عالية أو منخفضة، وبين أن ينطق به صوت رجل أو إمرأة أو طفل. وربما يكون التنويع النسبي في درجة الصوت خاصية مميزة على المستوى المعجمي فيما يسمى باللغات النغمية *tone languages*[٢٦]، ولكنه - مثل النبر النسبي - لا شأن له بتجزيء الحدث الكلامي إلى الصوتيمات المكونة له *phonemic segmentation*. أما في اللغات غير النغمية *non - tone languages* فإن التنويع النسبي في درجة الصوت يتمثل في التنغيم *intonation*، وهو أيضاً لا شأن له بالتجزيئ الصوتيمي. (وحين يكون الكلام في اللغة النغمية مصحوباً بنمط تنغيمي ما *intonation pattern* يكون الخط البياني الذي يمثل تغير الدرجة المسموعة *audible pitch contour* هو حاصل الجمع بين النغمة والتنغيم، بالإضافة إلى النغمة المفصلية *sandhi*[٢٧] التي لا يمكن تجنبها، ونعني بها تأثير النغمة المجاورة على النغمة التي هي موضوع الفحص. (قارن *sandhi in comparative grammar*).

ويستطيع المرء ببعض التدريب أن يتعلم كيف يتعرف إلى النماذج الشائعة لأشكال التدوين الذبذبي (وهي ما يمكن أن نسميها الصوتيمات الذبذبية *oscillophonemes*)، وأن يعزوها إلى أصوات بعينها من أصوات الكلام (صوتيمات)، ولكنها مهمة صعبة ومحفوفة بالمخاطر. وهناك عيب أكثر خطورة؛ ونعني به استحالة إجراء عدد كبير من التجارب ذات القيمة اللسانية بآلات الرسم الذبذبي، واستحالة عمل مقاييس دقيقة لمحددات معينة لها قيمتها في الكلام؛ إننا إذا أردنا الوفاء بهذا الغرض فعلينا أن نتيقن من أن هذه المحددات لم يعرض لها تشويش أو تزييف في تدوينها - على النحو المعهود في الرسوم الذبذبية - نتيجة إقحام عناصر غير ذات قيمة من الوجهة اللسانية. لذلك كان هذا النوع من الأجهزة في يد علماء اللسانيات مناسباً للشرح والتوضيح في المقام الأول لا للبحث الذي يستهدف الفحص الكمي. إن الرسوم الذبذبية تدعم المعلومات التي نجمعها بطريقة انطباعية

عن أصوات الكلام، ولكنها أقل الوسائل فيما تعطي من مادة قريبة التناول ووثيقة الصلة بالوجهة اللسانية - أما الآلة التي سأشرع الآن في وصفها فتعطينا رسماً يشتمل على المعلومات التي يزودنا بها الشكل (١١)، ولذلك تسمى **المطياف** *sound spectrograph*، وهي تزودنا بهذا الرسم عن طريق إجراء تحليل توافقي يناظر من جهات كثيرة ذلك التحليل الذي تجريه آلية السمع ومراكزه العصبية عند الإنسان. ولكن قبل أن نصل إلى وصف هذه الآلة يلزمنا قليل من الملاحظات التقنية التي نمهد بها لما نريد.

* * *

الفصل السابع

الرنين والتقوية

لنفترض أن معي في إحدى الغرف ثلاث شوكات رنانة في حالة سكون،وأن درجاتها الطبيعية (أي الترددات التي تصدرها إذا طُرِقت) هي ٢٠٠ ذ/ث و ٣٠٠ ذ/ث و ٤٠٠ ذ/ث. ولنفترض أنني طرقت شوكة رابعة درجتها ٣٠٠ ذ/ث - فإن الشوكة الرابعة - حينئذ لن تصدر صوتاً بنفسها فقط ولكنها ستوصل اهتزازاتها إلى تلك الشوكة الساكنة التي درجتها ٣٠٠ ذ/ث، على حين تظل الشوكتان الأخريان دون تأثر. وهذا الاهتزاز التجاوبي *sympathetic vibration* يطلق عليه مصطلح الرنين *resonance*، كما يطلق على الشيء الذي ينشط بتأثير من هذه الاهتزازة مصطلح الجسم المرنان *resonator*.

وربما تشتمل الغرفة على أسطح وأشياء وتجاويف هوائية يكون ترددها الطبيعي ٣٠٠ ذ/ث، ومن ثم ستأخذ هذه كلها في الاهتزاز، غير أن استجابتها وحساسيتها - خلافاً لاستجابة الشوكة وحساسيتها - ستكون على الأرجح جد ضئيلة، حتى إن اتساع اهتزازتها التجاوبية لن تحدث صوتاً يكون في علوه ومدته كافياً لأن تدركه أذن الإنسان.

والجسم المرنان لا ينشط بعد وقت قصير من نشاط الجسم الذي هو مصدر الرنين *sonator* فحسب، ولكن حركته أيضاً تكون كحركة البندول، حيث تستمر إلى فترة بالطاقة المختزنة حتى بعد أن يكف المصدر الأول عن إمداده بالطاقة. ومن ثم فإن الشوكة التي تعمل بوصفها جسماً مرناناً تظل تعمل لفترة بعد توقف الشوكة المطروقة، ولكنها دائماً تعمل بمستوى قوة أقل من

مصدر الصوت الأصلي، ويرجع هذا النقص إلى الطاقة المفقودة في عملية الانتقال، وفي الآلة نفسها ولا سيما أثناء الاحتكاك الذي تبدد به الطاقة كالحرارة.

وينبغي ألا يختلط الرنين بالترجيع *reverberation* (أو الصدى *echo*)، الذي هو انعكاس أو ارتداد لموجات الصوت الأصلية بعد اصطدامها بسطح غير ماصّ، وليس تنشيطاً لجسم مهتز إضافي. إن الترجيع لا وجود فيه لطاقة مختزنة، ولا تمتد المدة الزمنية للصوت فيه إلى ما بعد العملية التي يقوم بها مصدره إلا إلى المدى الذي تصطدم فيه أذن السامع بالموجات المُصْدية، ويكون ذلك بعد فترة زمنية تتناسب مع المسافة التي عليها أن تقطعها من المصدر إلى السطح العاكس، ثم من السطح العاكس إلى الأذن. ولأن الموجات غير المنعكسة تصل إلى السامع بسرعة أكبر من سرعة الموجات المنعكسة لذلك نجد السامع يدرك الصوت بالفعل مرتين، بل أكثر من مرتين إذا كان هناك صدى مضاعف. وتتطلب قاعات الاستماع إلى الموسيقا ودور الأوبرا بالفعل قدراً معيناً من الترجيع، كما يمكننا عند تحديد الخصائص الأكوستيكية لأي غرفة أن نتجنب الترجيع عن طريق تغطية جدران الغرفة عادة بمادة ماصّة «كاتمة»، على نحو ما يجري عادة في «استوديوهات» الإذاعة والتسجيل الصوتي، أو في المختبرات التي تجري فيها التجارب الأكوستيكية.

ولنعد إلى شوكتنا التي تقوم بعمل الأجسام المرنانة *resonators*، فربما يسأل سائل: هل يمكن أن يستجيب الجسم المرنان لشوكة ترددها ٣٠٠ ذ/ث إذا كان تردده هو ٦٠٠ ذ/ث؟ لقد ذكرت من قبل أن الخاصية التي تجعل من الشوكة موضع اهتمام الموسيقيين الراغبين في ضبط آلاتهم هي أنها بطرقة واحدة تنتج نغمة تستمر مدة طويلة دون أن يَعجُل إليها الضعف، كما ذكرت بالإضافة إلى ذلك خاصية أخرى هي أن نغمة الأساس التي تنتجها ذات قوة

عظيمة، وينتفي منها أي وجود فعلي لنغمات عليا مهمة تقوم بتعديل نغمة الأساس، باستثناء قليل من النغمات التوافقية الضعيفة. ومن هنا فالشوكة التي تهتز بتردد ٣٠٠ ذ/ث ربما تنتج - وهو احتمال بعيد - نغمة توافقية بتردد ٦٠٠ ذ/ث تكون بالغة الضعف حتى إن الجسم المرنان الذي تردده ٦٠٠ ذ/ث لا يستجيب لها استجابة مسموعة. وللسبب نفسه يمكن أن تستجيب الشوكة المثالية بالرنين لترددها الأساسي المحدد فقط، بل إن الشوكة الرنانة التي هي دون ذلك من حيث المثالية لن تكون جسماً مرناناً كفؤاً بالنسبة للترددات التي تخالف نغمتها الأساسية. أما إذا أجرينا التجربة مع جسم يهتز وهو غني بالنغمات العليا القوية - وذلك كوتر من أوتار الكمان مثلاً - فحينئذ تكون هناك فرصة لقيام الوتر الذي تردده ٣٠٠ ذ/ث ببث نغمة توافقية قوية ترددها ٦٠٠ ذ/ث، وأن تكون هذه النغمة كافية لإحداث رد فعل لدى أي جسم رنان ذي حساسية كافية إذا كان تردده هو ٦٠٠ ذ/ث.

ترينا التجارب - إذن - أن أي جسم أو كتلة من الهواء المحبوس في تجويف ذي شكل وحجم معينين (كأن يكون في زجاجة مثلاً أو في تجويفي الفم والأنف) يمكن أن يُحمَل على الاهتزاز، وأن تُصدِر صوتاً بتردده الطبيعي إذا قام مصدر قوة خارجي مباشرة بتحريكه. ولا يقف الأمر عند هذا الحد بل إنه يفعل ذلك إذا ما تعرض لموجات صوتية تعمل بهذا التردد نفسه، شريطة أن تكون طاقة هذه الموجات في لحظة حدوثها كافية للتأثير. ونقول - بعبارة أخرى - إن هذا الجسم أو هذه الكتلة الهوائية يمكن أن يُحمل كلاهما لا على إصدار الصوت فحسب بل كذلك على استقبال الصوت والاستجابة له أو باختصار - على أن تكون جسماً مرناناً *resonator*.

ونحن إذا تخيلنا النغمة الحنجرية ذات التركيب البالغ التعقيد وهي تدخل إلى تجاويف أعضاء النطق الواقعة فوق الحنجرة - تبين لنا بوضوح أن في

إمكان نغماتها التوافقية - التي هي ذات نصيب وافر من القوة - أن تحمل ما يصادفها من تجاويف الهواء - التي تكون على درجة ملائمة من الانسجام معها - على أن تستجيب بالرنين بقوة كافية. إننا نعلم الآن أن النغمة الحنجرية تشتمل على عدد عظيم من التوافقيات، وأن كثيراً من هذه التوافقيات يتمتع بنصيب وافر من القوة. ونعلم من جهة أخرى أن أحياز الهواء في التجاويف يمكن تعديلها بحيث تتخذ ضروباً من الأشكال والأحجام بفضل مرونة أعضاء النطق، كما أن المتكلم قادر على أن يغير من هيئات هذه الأحياز كيف يشاء. لذلك كان من الممكن تشكيل الهواء في هذه الأحياز بحيث يكتسب في تتابعات سريعة عدداً بالغ التنوع من الترددات الملازمة له حيث يستجيب لها بالرنين؛ ويتمثل نشاط المتكلم في التوفيق بين التجاويف الرنانة وبين نغمة أو عدة نغمات توافقية في النغمة الحنجرية؛ وأعني بذلك أن يتمثل النشاط في تشكيل تجاويف ذات شكل وحجم معينين يمكن أن تقوم بالرنين إذا نشطتها نغمة أو عدة نغمات توافقية مما تشمل عليه النغمة الحنجرية. وهكذا ينشأ عن كل رنين يتولد من النغمة الحنجرية تغيير في الرسم الذبذبي، أي في صورة الموجة «البروفيل»؛ أي في التكوين الطيفي، وهذا يعني - باختصار - حدوث تغيير في نوعية النغمة الحنجرية. ويترتب على ذلك أن النغمة التي تصدر في نهاية المطاف عن الفم ربما يكون التغيير قد لحقها بصورة كبيرة وفعالة بسبب ما يطرأ عليها من تعديلات فيما فوق الحنجرة، أو هي - من الوجهة النطقية - بحسب وضع أعضاء النطق. ومن الواضح كل الوضوح أن الصوائت المختلفة *vowels* في أي لغة تدين بخصائصها - بقطع النظر عن درجة الصوت - إلى تنوعات النطق فيما فوق الحنجرة.

وبالإضافة إلى ما سبق تجري أيضاً خلال هذه التجاويف تقوية الترددات التي خضعت للرنين. ولكي نشرح ظاهرة التقوية *reinforcement* سنجري التجربة مرة أخرى على شوكة رنانة مطروقة. إننا إذا وضعنا جذع هذه الشوكة

فوق صندوق مجوف فربما نزيد من العلو الذي تعمل به، أي أن نزيد من قوتها. وفي هذه الحال يكون ما نكسبه من حيث اتساع الاهتزازة على حساب ما نفقده من مدتها؛ فالشوكة التي وضعت على هذا النحو لتقويتها ستكف عن العمل بأسرع من الشوكة التي لم تتعرض لهذه التجربة. ولا يمكن أن يكون الأمر على خلاف ذلك، ذلك أن السبب في زيادة اتساع الموجة ينبغي أن يكون سببه هو حدوث تغير ما في الطريقة التي استخدمت بها **الطاقة الكلية المُدْخلة** *input energy*. ولما كانت الطاقة المُدخلة مساوية للطاقة التي انتقلت إلى الشوكة عند طرقها، ومن ثم فلا وجود لأي طاقة أخرى أضيفت إليها - لذلك فإن أي زيادة في أي جزء من **الطاقة المُخرَجة** *output energy* لا يمكن أن تحدث إلا على حساب النقص في جزء آخر؛ وبعبارة أخرى نقول: إن الطاقة الكلية المخرجة لا يمكن أن تكون أكبر من الطاقة المدخَلة[٢٨].

إن تجاويف ما فوق الحنجرة تمثل لدينا الآن هذه الغرف المقوية (كما تفعل أجواف الطبول وصناديق آلات الكمان)، وفي هذه الغرف يقوى اتساع الاهتزازة بالنسبة للتردد الأصلي وللتردد الذي استجيب له بالرنين، وليس ثمة عواقب ذات تأثير على الكلام أو الغناء نتيجة نقص المدة، وذلك لأن الطاقة المدخلة التي تنشأ عن النشاط العصبي الإرادي للمتكلم أو المغني يمكن أن تستمر أو تتكرر بحسب رغبة أيٍّ منهما. وهذا الأمر شبيه بأن تطرق الشوكة الرنانة طرقاً متتابعاً أثناء وضعها فوق الصندوق حتى تواصل استعادة طاقتها قبل أن تنفد تماماً. ولهذا السبب أيضاً يمكن أن يشتمل التكوين الطيفي للنغمة الحنجرية على تردد ضعيف نسبياً في قوته، ومع ذلك يمكن أن يعاد تشكيله - بفضل التقوية - بحيث يكتسب الرنين على مستوى أعلى من حيث القوة.

وينبغي أن ننبه إلى أن مصطلحي «الرنين» و «غرف الرنين» يستخدمان

بحيث - يخصان - مجتمعَيْن أو منفردين - الرنين والتقوية. وسنتفق هنا على الفصل بينهما بحيث نخص بالرنين مسائل التكوين التوافقي أو نوعية النغمة، وبالتقوية مسائل القوة أو العلو، ولما كانت نوعية الصوت في تحليل أصوات الكلام مُحدِّداً له أهميته، على حين أن القوة (المطلقة) محدِّدٌ غيرُ مهم - لذلك ستكون الخصائص الناشئة عن الرنين فيما يلي من مناقشاتنا أعظم أهمية إلى حد كبير من تلك التي تتعلق بالتقوية.

وهكذا يقوم المتكلم في أي لغة بتشغيل جهاز هو فوق الممتاد من حيث تعقده وحساسيته. وهو يستطيع بهذا الجهاز أن ينتج ألواناً من الأداء الصوتي والأكوستيكي على درجة عظيمة من التنوع. ولقد سبق أن ذكرت أن أي لغة من اللغات لا تختار أو لا تستخدم من بين هذا التنويع المحتمل إلا عدداً محدوداً من الفئات أو الصوتيمات. والعزف على هذه «الآلة» صعب جداً، أو يكون -بالأحرى - صعباً جداً لو أن المتكلم اضطر إلى القيام بجميع أفعاله النطقية بوعي وجهد. والحاصل - بديلاً لهذا - أن المتكلم يتدرب خلال سنوات الطفولة على تمكين أعضاء النطق لديه من عدد من الأوضاع النطقية المنتجة لفئات الأصوات التي هي الصوتيمات في لغته الوطنية. إنه يتعلم هذه المنظومة من الكيفيات النطقية، وتصير إلى حد كبير جزءاً من سلوكه بحيث يستخدمها تلقائياً ودون استبطان، حتى يصبح من الصعب عليه أن يكتسب منظومة أخرى من صوتيمات لغة أجنبية جديدة ومخالفة للغته الوطنية. وتبلغ الصعوبة مداها بالنسبة لمن تعدت أعمارهم الثانية عشرة إذا قسنا ذلك بتحصيل أنواع جديدة من أنماط السلوك غير اللغوي، كأن يمارس الإنسان الأكل أو الملبس طبقاً لقواعد جديدة.

وتكييف النغمة الحنجرية في تجاويف ما فوق الحنجرة ليس مسؤولاً عن إنتاج جميع الأصوات في أي لغة سواء كانت المسؤولية جزئية أو كلية؛ ذلك

أنه حين تنعدم النغمة الحنجرية تقوم بصنع الصوت تجاويف أخرى لا تقل تعقيداً عما سبق. وتشكل الأصوات - التي تنتج كلياً أو جزئياً بواسطة ألوان الرنين فيما فوق الحنجرة - فئة قائمة بنفسها هي الأصوات الرنانة *resonants* (تمييزاً لها من الأصوات الاحتكاكية و *fricatives* والانفجارية *plosives* غير الرنانة *non - resonants*)، وتشمل هذه الفئة ما شاعت تسميته بالصوائت *vowels* (وأنْصَاف الحركات *mi - vowels*) والانطلاقيات الأنفية *nasal continuants* والترددية *trills* والمنحرفة (الجانبية) *laterals*.

* * *

الفصل الثامن

الاضمحلال

ليس هناك وجه شَبَه جامع - على أي حال - بين الشوكة الرنانة المثالية من جهة، وبين **الأجسام الرنانة** *sonators* **والأجسام المرنانة** *resonators* في جهاز النطق من جهة أخرى؛ فهذه الأجسام لا تقتصر في إنتاجها على التردد الدقيق لكل نغمة من نغمات الأساس أو النغمات العليا، وشأنها في ذلك هو شأن جميع الأجسام الرنانة والمرنانة الموجودة في الطبيعة. إن تردد أي نغمة من هذه النغمات يُشكِّل ذروة من ذرى **القوة** *power peak*، ولكن هذه الذروة تكون مصحوبة بعدد من الترددات الثانوية - يقل أو يكثر - ويقع مباشرة حول المستوى الخاص بتردد هذه النغمة: فوقه أو تحته.

ولكي نفحص الظروف الخاصة بهذه الظاهرة وأهميتها علينا أن نحول شوكة رنانة مثالية إلى شوكة تعمل بهذه الطريقة الخاصة، ويمكن أن يتم ذلك في يسر إذا نحن ضغطنا قطعة من القطن الطبي بين ذراعيْ الشوكة قبل طرقها. وتسمى هذه العملية: **الاضمحلال** *damping*، كما يسمى الصوت الناتج عنها **صوتاً مضمحلاً** *a damped sound*.

ولهذا التغير تأثيران مهمان من حيث الخصائص الأكوستيكية والرسم الذبذبي على الموجة الصوتية التي تنبعث حينئذ من الشوكة:

الأول: أن الاضمحلال يعجل إلى حد كبير بسرعة نقصان اتساع الذبذبة، حتى إن الشوكة ربما تكف عن إصدار صوت مسموع بعد زمن ضئيل يقارب نصف الثانية (وهكذا تصبح هذه الشوكة - بقطع النظر عن نوعية الصوت الذي تصدره الآن - عديمة الجدوى بالنسبة لضبط الآلات الموسيقية).

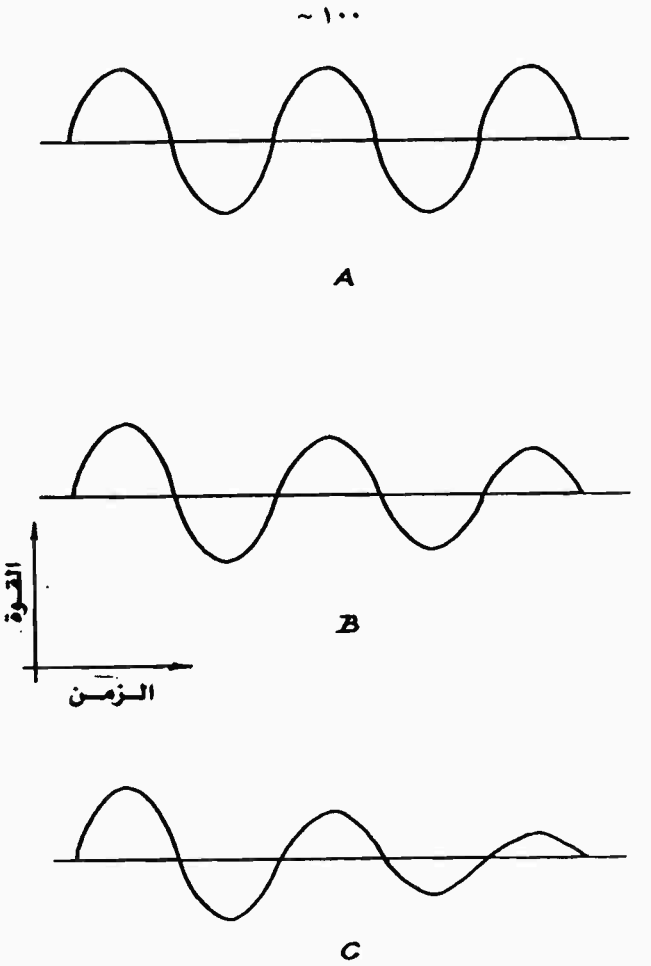
ويَظْهر في الشكل (١٢) ثلاثة رسوم ذبذبية لشوكة رنانة في حالة اهتزاز:

(أ) عندما تكون الشوكة عادية ومثالية تقريباً.

(ب) عندما تكون مضمحلة.

(جـ) عندما تكون أكثر اضمحلالاً.

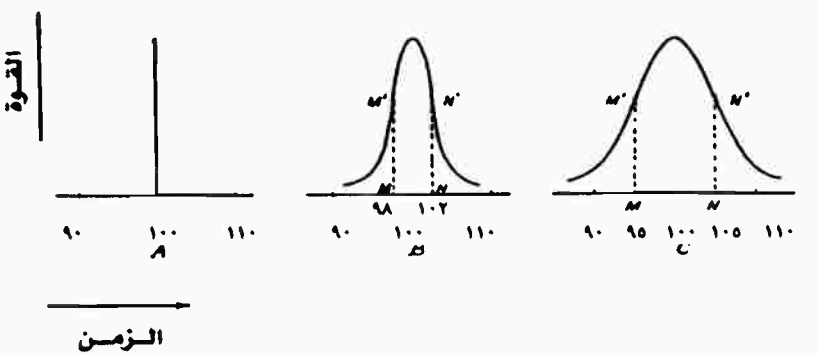
الثاني: ينشأ عن ذلك أن الاضمحلال يعيب مثالية الشوكة من حيث الترددات. وهو بهذا يولد عدداً من الترددات الثانوية تقع فوق التردد الطبيعي وتحته (ولا يظهر هذا الأمر في الشكل ١٢)، (وإن كان الاضمحلال - على أي



شكل ١٢ .
رسم ذبذبي
لصوت مضمحل

حال - لا يضيف نغمات توافقية جديدة للنغمة التي ينتجها الجسم عادة في حالة اهتزازه). ويمكن أن تقع الترددات الجانبية - من الوجهة النظرية والمثالية - في أي نقطة ما بين الصفر واللانهاية. أما من الوجهة العملية فإنها تقع في نطاق أضيق. وتتجمع هذه الترددات حول نغمة الأساس (أو أي نغمة عليا إن وجدت). ويتم هذا التجمع بطريقة تكون فيها الترددات القريبة من ذروة نغمة الأساس (أو النغمة العليا) هي الأقوى، إلا أن قوتها تتناقص تناقصاً سريعاً وواضحاً بمقدار بعدها عن الذروة.

ويتسم تأثير الترددات الثانوية على نوعية النغمة الموسيقية بأنه ضئيل على وجه العموم. ويرجع السبب في ذلك إلى ضعفها من جهة، وإلى أنها - من جهة أخرى - ليست نغمات عليا لأنها ليست مضاعفات لنغمة الأساس. غير أن الآلات الموسيقية يمكن أن يتم تركيبها أو تزويدها بقطع إضافية بحيث تبث نغمات مضمحلة ذات خصائص متميزة. أما في أصوات الكلام فتكون الترددات الثانوية الناشئة عن الاضمحلال ذات قوة تكفي ليكون لها أثرها الملحوظ على نوعية النغمة.



الشكل ١٣ . تكوينات طيفية لصوت مضمحل

ويعرض الشكل (١٣) ثلاثة تكوينات طيفية لثلاث نغمات تختلف من حيث درجة الاضمحلال، وتناظر الرسوم الذبذبية الثلاثة في الشكل (١٢). (وإن كنا لم نبذل أي محاولة لالتزام الدقة الرياضية في الرسم). إن الرسوم الذبذبية تبين علاقة «الزمن - القوة»، وتوضح على محور الزمن ما يطرأ على القوة من تناقص نتيجة تأثير الاضمحلال. أما الرسوم الطيفية فتبين علاقة «التردد - القوة»، وتوضح وجود الترددات الثانوية في حالة تجمعها حول الذروة بسبب الاضمحلال.

وقد جرى تركيب التكوين الطيفي في الشكل (١٣ A) بطريقة تطابق تماماً التكوين الذي في الشكل (١١)، إذ إنه لا يختلف عن الأخير إلا في اشتماله على مكون واحد بدلاً من مكونين اثنين؛ أي أن القوة فيه تقترن بتردد واحد فقط، وهو ما نتوقعه من شوكة مثالية. وفي التكوينين الطيفيين (١٣ B) و (١٣ C) ينبغي أن يُكتَشف التردد الأساسي للشوكة المضمحلة الحالية من كلا جانبيه الأعلى والأدنى [على سلم الترددات] بعدد لا نهائي من الترددات الثانوية. وتتناقص قوة هذه الترددات الثانوية تناقصاً سريعاً على جانبي التردد ١٠٠ ذ/ث. وبدلاً من أن نرسم جميع هذه الترددات أو بعضها على هيئة خطوط عمودية اكتفينا بتوصيل أطرافها العليا على شكل **مُنحنى غطائي** *envelope curve* يطلق عليه بوجه عام مصطلح **المنحنى الرنيني** *resonance curve* أو **المنحنى الطيفي** *spectrum curve*.

ومن الممكن إضعاف تأثير الاضمحلال أو إبطال مفعوله من حيث الاتساع والتردد كليهما إذا استمر تحريك مصدر النغمة بواسطة مصدر قوة خارجي، وبهذه الطريقة نمنع القوة الذاتية للجسم الرنان من أن تتناقص. ومثال ذلك ما يحدث لبندول الساعة، إذ يتم إبطال مفعول الاضمحلال فيه بسبب القوة المستمرة التي يمدها بها الزنبرك؛ فالاحتكاك لن يوقف الساعة

مادامت معبأة. ويعد تيار الهواء الصادر من الرئتين مثلاً لهذا النوع من مصادر القوة، ولذلك يمكن تنحية أثر الاضمحلال الذي تفرضه الخصائص التشريحية للشفتين الصوتيتين على النغمة الحنجرية، ومن ثم يمكننا أن نَعُدّ النغمة الحنجرية غير مضمحلة من حيث الأصل، وهذا هو ما فعلته حتى الآن. غير أن التجاويف المقوية أو المرنانة لا تحركها قوة مستمرة بهذه الطريقة، وهي التي تمنح الصوت الكلامي نصيباً كبيراً من نوعيته الأكوستيكية المدركة. ومن هنا تخضع أصوات الكلام في الصورة الأخيرة التي تصدر بها من الفم أو الأنف لتأثير الاضمحلال، كما تخضع له رسومها الذبذبية والطيفية. ولذلك إذا أنجزنا تمثيلاً مرئيّاً لأصوات الكلام وأردنا تحقيق التناظر بين هذا التمثيل والشكل الأكوستيكي الذي تصل به هذه الأصوات إلى أذن السامع - فعلينا أن نشكل هذا الرسم تشكيلاً يتضح فيه أثر الاضمحلال؛ أي أن هذا الرسم ينبغي فيه أن يبين لنا المجال (أو المجالات) الترددية التي يقع في نطاقها الاضمحلال. إن على الرسم الطيفي - بعبارة أخرى - أن يتضمن معلومات تتعلق بتأثير الاضمحلال على توزيع التردد في النغمة المركبة.

وحين يكون الجسم المرنان مضمحلاً فإن منحنى الرنين لا يصل نظرياً إلى نقطة الصفر مطلقاً، كما أن المفروض - نظرياً - أن كل الترددات الواقعة حول الذروة المركزية هي ترددات موجودة في تكوين الصوت. إن منحنى الرنين يدنو مقارباً للصفر، ولكن مستوى القوة لا يصل إلى الصفر مطلقاً، ولذلك فإن المسافة التي يحتلها عرض المنحنى الرنيني *breadth* بالنسبة لكل منحنى من منحنيات الرنين لا نهاية لها.

غير أن قوة الترددات التي تكون بعيدة من المركز لا متناهية في صغرها، ومن ثم يمكن إهمالها أكوستيكيّاً - ولذلك قام العلماء بوضع حد صالح

للأغراض العملية يتحدد على أساسه العرض المؤثر في هذه المنحنيات. ويقاس هذا العرض بالذبذبة في الثانية، ويتم على النحو الآتي:

نبدأ أولاً بتحديد أقصى اتساع لذروة التردد المركزي، ثم تُحدَّدُ نقطتان على جانبي التردد المركزي بحيث يكون الاتساع في كل منهما يساوي اتساع التردد المركزي ٠,٧٠٧ مرة. وتسمى هاتان النقطتان **نقطتي منتصف القوة** *half power points*. وتتناسب القوة في كل نقطة منهما مع مربع الاتساع. (ومربع ٠,٧٠٧ يساوي ٠,٤٩٩٨٤٩ أي النصف تقريباً[٢٩]). وفي الشكل (١٣ B) تقع هاتان النقطتان عند الترددين ٩٨ ذ/ث و ١٠٢ ذ/ث. ولذلك فإن **عرض المنحنى الرنيني** - أو كما يسمى أيضاً **عرض الحزام الرنيني** *band width* هو ٤ ذ/ث، ويقابل ذلك في الشكل (١٣ C) الترددان ٩٥ ذ/ث و ١٠٥ ذ/ث، حيث يساوي عرض الحزام الرنيني ١٠ ذ/ث. (وننبه مرة أخرى إلى أننا لم نحاول التزام الدقة الرياضية في عمل الرسوم التوضيحية).

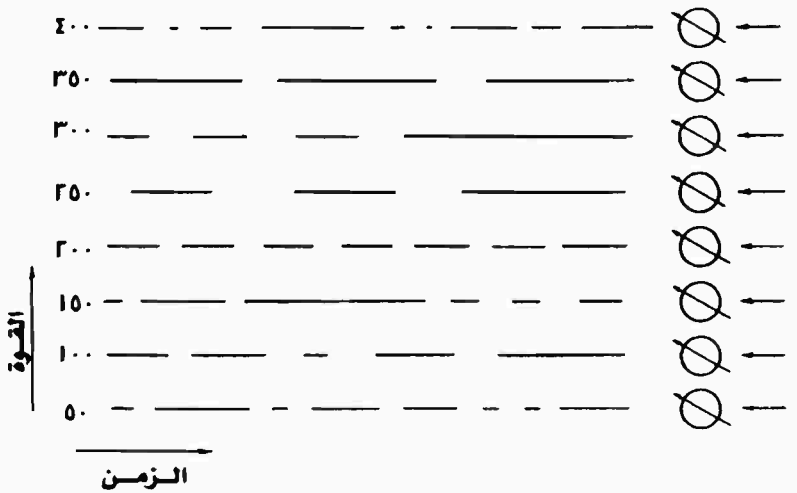
وكلما زاد الاضمحلال زاد معه عرض الحزام الرنيني. وإذا زاد الاضمحلال بدرجة كافية أدركه السامع في صورة **غلظ في الصوت** *blunting of the sound*. أما التأثير العكسي وهو التقليل من غلظ الصوت فيسمى **ترفيع الصوت** *sharpening* أو إكساب الصوت صفة الحدة. وَحِدَّةُ الصوت لا غِلظُه هي الأقرب إلى أن تكون إحدى خصائص الصوت الغنائي المدرب الجيد. وعلى المغني حينئذ أن يتعلم كيف يُنَحِّي تأثير الاضمحلال قدر طاقته، وهو التأثير الذي تسهم به التجاويف والعوائق الموجودة في منطقة ما فوق الحنجرة.

* * *

الفصل التاسع

الترشيح

يمكن أن نُشكِّل منظومة من الشوكات الرنانة التي سنستخدمها بوصفها مصادر للرنين، وأن نصل كلاً منها بنوع ما من أجهزة القياس على النحو المبين في (الشكل ١٤). وتعمل الشوكات الموجودة في الرسم الذي نورده بفاصل ترددي بين كل منها مقداره ٥٠ ذ/ث. ومن الممكن - بطبيعة الحال -



الشكل ١٤ . مرشحات

أن نزيد أو نقلل من مقدار الفواصل الترددية، وأن نضع مزيداً من هذه الشوكات الرنانة بالعدد الذي نريده عبر المجال الكلي للترددات، وبالعرض الذي نريد. ولنتخيل بعد ذلك أننا قمنا بتوصيل كل جهاز من أجهزة القياس

بقلم يترك أثراً مرئياً عند تنشيط الجهاز؛ بحيث يستمر التدوين طوال مدة الإثارة تقريباً. (وأنا أقول: «تقريباً» لأن الطاقة المخزونة في الجسم المرنان ستجعل الإثارة تمتد إلى ما بعد توقف نشاط مصدر الرنين، ولكن بسرعة متناقصة وقوة أقل). ولكي نحصل على عنصر الزمن فإني سأقوم بما قمت به من قبل (انظر الشكل ٤)، وهو أن أحرك الورقة تحت الأقلام بسرعة منتظمة من اليمين إلى الشمال. والآن لنتخيل أننا أصدرنا صوتاً هو نغمة مركبة فإن كل شوكة يكون ترددها موافقاً لتردد موجود في الصوت ستقوم بدور الجسم المرنان الذي يستقبل المثير، ويضفي عليه صفة الدوام، ويستوي في ذلك أن يكون هذا التردد نغمة أساس أو نغمة عليا تدخل في تكوينها الترددات: ١٠٠ ذ/ث و ٢٠٠ ذ/ث و ٣٥٠ ذ/ث و ٤٥٠ ذ/ث. إن أجهزة القياس في الشوكات المناظرة ستستجيب طوال مدة الإثارة على نحو يتساوى تقريباً مع القوة التي استقبلتها، وسيظهر المدى الزمني للإثارة عن طريق طول الأثر الذي يتركه القلم على سطح الورقة المتحركة. ويمكننا - إذا ما أردنا - أن نُفَسِّر كمية القوة تبعاً لمدى ضغط القلم على الورقة، حيث ستزيد درجة القتامة في لون الخطوط كلما زادت القوة. وبينما يكون في الإمكان أن نستقرئ الترددات عن طريق سلم الترددات، وأن تقاس المدة الزمنية بالبوصات، ثم تترجم إلى ثوان - سنجد من الصعب أن نحصل على قياس كمي للقوة عن طريق استقراء درجة القتامة في لون الخط. إن الحصول على قراءة لهذه الكمية ممكن إذا قسنا درجة قتامة اللون ببعض وسائل التصوير الحساسة (التي تشبه مقياس الضوء عند المصورين)، ولكن ذلك سيتطلب عملية معقدة، ويبقى وارداً ألا يعطي هذا الأمر نتائج أكوستيكية دقيقة قابلة للتفسير. غير أن هذا القصور لا ينبغي أن يكون مصدر إزعاج لنا عند تحليل الكلام، وذلك لأن الكمَّ المحض بالنسبة للقوة لا قيمة له في تحليل الكلام، وهو ما سبق أن أوردته في ملاحظة سابقة.

إن كل جسم من الأجسام المرنانة في هذه السلسلة من الشوكات سيستخلص حينئذ من النغمة المركبة تردده الخاص به، وحين يُستخدَم جسمٌ مرنان لهذا الغرض فهو يؤدي وظيفة **المرشِّح** *filter* .

وبما أنني الآن قد استخدمت شوكات رنانة (مثالية) فإن كل شوكة منها قابلة لترشيح تردد واحد فقط، أي التردد الذي يمكنها إنتاجه، وحينئذ ينعدم وجود الترددات الأخرى فيما يتعلق بهذهِ المنظومة من الشوكات على وجه التحديد. وإذا أردتَ - على سبيل المثال - أن تُرشِّح النغمة التي سبق ترشيحها (المكونة من ١٠٠ ذ/ث و ٢٠٠ ذ/ث و ٣٥٠ ذ/ث و ٤٥٠ذ/ث) وأن تُسجلها على صف من الشوكات الرنانة يجري تنظيمه بحيث يفصل كلاً منها عن الأخرى ١٠٠ ذ/ث ابتداءً من الصفر - فإنك ستحصل على تسجيل للنغمتين المكوِّنَتين ١٠٠ ذ/ث و ٢٠٠ ذ/ث، وستمضى المكونتان ٣٥٠ ذ/ث و٤٥٠ ذ/ث دون أن تلاحظا. ومن الواضح أن النتيجة المدونة في النهاية ليست - بحال - تحليلاً صادقاً للنغمة. ولو علمنا سلفاً - بطبيعة الحال - ما تشتمل عليه النغمة المراد تحليلها من ترددات لأمكن أن نُعنى باستخدام المرشحات ذات الفواصل والترددات الملائمة. ولكن هذا في الحقيقة يعني أن نضع العربة أمام الحصان، وذلك لأن الغاية من أي تحليل في نهاية المطاف هو اكتشاف الترددات المكوِّنة التي تشتمل عليها النغمة المركبة.

وينطوي استخدام مرشحات من نوع الشوكات المثالية على مظهر آخر من مظاهر القصور ستكون له خطورته إذا ما حللنا به موجة من النوع الذي لا يصدر عن شوكة مثالية أو آلة شبيهة بها. وليس هناك وجه شبه على الإطلاق بين أصوات الكلام خاصة وبين الأصوات التي تصدرها الشوكات الرنانة، وذلك لأن أصوات الكلام - وهي موجات مضمحلة - لا تتحدد نوعية الصوت فيها بنغمة الأساس أو مضاعفاتها فحسب[٣٠]، ولكنها تتحدد أيضاً بالترددات

التي يتكون منها عرض الحزام الرنيني الخاص بكل تردد يدخل في تكوين أصوات الكلام. ومن الواضح أن أي ترشيح يتجاهل هذه الإسهامات في تركيب أصوات الكلام فيمنحنا تسجيلاً مرئياً لا تظهر فيه هذه الإسهامات - أيّاً ما كانت - هو ترشيح غير مقبول، وربما كان عديم القيمة فعلاً.

ولذلك سيكون من الضروري أن نركب جهازاً يسجل خصائص الكلام بواسطة أداة ترشيح مناظرة للأداة التي في الشكل (١٤)، أي بمرشحات مِرّنانة حساسة للاضمحلال، وستكون هذه المرشحات من الأجسام الرنانة التي تنتج بذاتها أصواتاً مضمحلة، إذا ما استخدمت لتكون مصادر للنغمات. والمرشح الذي يكون من هذا النوع لا يكتفي بأن ينشط متأثراً بذروة التردد في كل نغمة مضمحلة داخلة في تكوين النغمة المركبة، ولكنه يتجاوز ذلك إلى التأثر بالترددات الجانبية الأخرى الواقعة خلال الحزام الرنيني في تركيبها الطيفي. ونستطيع أن نلبي هذه المتطلبات إذا استخدمنا عدداً من المرشحات يكون كبيراً وكافياً لتحقيق ما نريد. ويجوز أن تكون من النوع غير المضمحل بحيث يفصل كل مرشح عن الآخر ١ ذ/ث. غير أن ذلك سيتطلب آلة ذات نسب مزعجة للغاية، تزدونا برسوم ضخمة. ولكنّ هناك طرقاً أيسر يمكن بها تخطي هذه الصعوبة، وسأتناولها بالحديث فيما بعد.

* * *