

## المحاضرة الرابعة:

# علم الأصوات الأكوستيكي (La phonétique Acoustique)

### تمهيد:

من المعلوم أنه لا بد لكل عملية كلام من متكلم ينتج الأصوات، و مستمع يستقبل هذه الأصوات ويحلل رموزها... ولكن هناك مسافة بين فم المتكلم وأذن السامع وهي مجال انتقال الصوت، علما أن هذا المجال ليس ثابتا؛ لأننا نعرف أن سرعة الموجات الصوتية في الهواء هي 340 مترا في الثانية تقريبا، وتصل في الماء إلى 450 م/ثا، وفي الحديد إلى 5850 م/ثا... علما أيضا أن مجال الصوت طبيعيا هو الهواء دون غيره.

إن ظاهرة انتقال الصوت تشكل الموضوع الأساس لدراسة علم الأصوات الفيزيائي، معنى ذلك أنه لا بد من الاشتغال بالموجات والذبذبات، مما يجنح بهذا العلم نحو علم الطبيعة البحتة، ولا يمكن الاقتراب منه دون تحضير رياضي متين، مما أكسبه دقة علمية مكنته من تحديد الأصوات بعدد الذبذبات وصورها.

إن علم الأصوات الأكوستيكي phonétique Acoustique علم حديث العهد بالوجود نسبيا، ويمثل المرحلة الوسطى بين علم الأصوات النطقي الذي سبق درسه، وبين علم الأصوات السمعي الذي سندرسه لاحقا.

والفونتيكا الأكوستيكية علم لم يكن ليوجد لولا تقدم العلوم الطبيعية بفروعها المختلفة...، مما مكّن علماء الأصوات من التعرف على خواص الأصوات وطبيعتها...

يدرس هذا العلم خصائص الأصوات المادية في جانبها الفيزيائي، أثناء انتقالها من فم المتكلم إلى أذن السامع، كما يدرس مصدر الصوت، ونوع الصوت، والموجات الصوتية، والخواص الفيزيائية للصوت، والتصوير الطيفي للأصوات الكلامية... مما جعله حقلًا لاختصاص مهندسي الأصوات في الإذاعة والتلفزة... أثناء عبور الأصوات من فم المتكلم إلى أذن السامع سواء أكان ذلك عبر الهواء مباشرة، أم بواسطة الأسلاك، أم اللاسلكي.

وظيفة الفونتيكا الأكوستيكية إذا هي دراسة التركيب الطبيعي للأصوات، وتحليل الذبذبات والموجات الصوتية المنتشرة في الهواء بوصفها ناتجة عن ذبذبات ذرات الهواء في الجهاز النطقي المصاحبة لحركات أعضاء هذا الجهاز.

وأهمية الفونتيكا الأكوستيكية تكمن في دراسة حالات الصمم وعيوب النطق... وتقديم العلاج لكل حالة من هذه الحالات التي قد تكون نفسية (سيكولوجية)، وقد تكون فيزيولوجية تتعلق بجهاز النطق والسمع. بل توصل العلماء أيضا بفضل هذا العلم إلى:

\* تحويل الكلام المنطوق أليا إلى كلام مكتوب.

\* تحويل الكتابة الفونيمية إلى كلام منطوق.

\* الترجمة الآلية المباشرة من لغة معينة إلى لغة أخرى أو إلى لغات أخرى، نطقا أو كتابة، أو نطقا وكتابة في الوقت نفسه.

وسنركز في هذه الدراسة على: مصدر الصوت، نوع حركة الصوت، الخواص الفيزيائية للصوت: الشدة والتواتر، الرنين والترشيح، وتصنيف الصوائت والصوامت تصنيفا فيزيائيا (أكوستيكيا)...

### ظاهرة الصوت ومصدره:

يصدر الصوت عن أي شيء يسبب اضطرابا أو اهتزاز ملامتا في ضغط الهواء. فمثلا: إذا شددت وترا من أوتار الكمان، أو طرقت شوكة رنانة أو طبلة، أو نفخت في بوق... فإنك تصدر صوتا وتسمعه، ومرد ذلك إلى اهتزاز الوتر أو السطح، أو عمود الهواء... وهذا الاهتزاز هو حركة تنتقل آثار دفعها إلى الوسط المحيط الذي هو مادة الهواء.

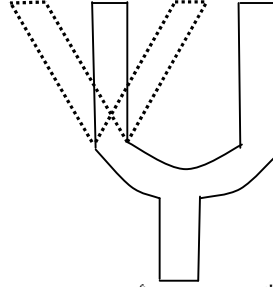
والجسم الذي يهتز-وهو مصدر الصوت- لا يحدث إلا دفعا لجزيئات الهواء الحامل للصوت، وهي تلك الجزيئات الملامسة مباشرة لهذا الجسم المهتز. وحين يندفع كل جزيء منها بهذه الطريقة يضغط أمامه على الجزيئات المجاورة مباشرة صانعا بذلك أمامه ضغطا (Compression)، ومخلفا وراءه تخلخلا (Rarefaction). وتستمر هذه العملية حتى يتوقف المصدر الأصلي للقوة عن الحركة، حيث تنفذ طاقته أو تتوقف، وحينئذ يعود التوازن النسبي بعد تحركات وارتدادات بندولية أخرى.

وحيثما تصطدم اهتزازات الهواء بعائق ما يتبدد بعض طاقتها، فإذا كان العائق صلبا غير قابل للاختراق، فإنه قد يعكس تلقائيا ذبذبات الهواء متأثرا بها متأثرا ضعيفا أو غير متأثر بها على الإطلاق، وإذا كان العائق طيعا وقابلا للتحرك فإنه 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 إلى تيارات كهربية. ومن ثم يقوم المستقبل مرة أخرى بترجمتها اليكترونيا إلى موجات صوتية، ثم تنتقل هذه الموجات إلى الأذن لتطرق الغشاء الذي هو جزء من جهاز السمع، حيث يجري تحويل الذبذبات إلى حركات عصبية تحمل من فورها إلى المخ، ويدركها السامع في صورة صوت.

.الموجة الصوتية: هي مجموعة الذبذبات الصوتية المتعاقبة التي تنتج إحداها عن الأخرى... ويمكن توضيح ذلك بصورة الموجات المائية التي يحدثها إلقاء حجر في بركة ما... فهي تبدأ صغيرة ثم تتسع شيئاً فشيئاً إلى أن تتلاشى.

وقد سبق الذكر أن مصدر الصوت يسبب تحركات لأجزاء الهواء المجاورة له... وأن هذه الأجزاء تضغط بدورها على جزيئات الهواء المجاورة لها، وتضغط هذه بدورها على الجزيئات المجاورة لها... وهكذا، فإذا أوقف تذبذب الجسم المصوت بعد إطلاقه ذبذبة واحدة لكان ما حصلنا عليه هو ذبذبة الجسم وذبذبة الجزيئات المجاورة... ثم ذبذبة الجزيئات المجاورة للأولى... فالمجاورة للثانية... وهكذا، وهذه كلها اسمها: ((الموجة الصوتية)) ويمكن توضيح ذلك بالرسم التالي:

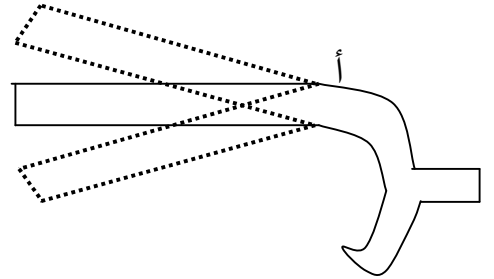
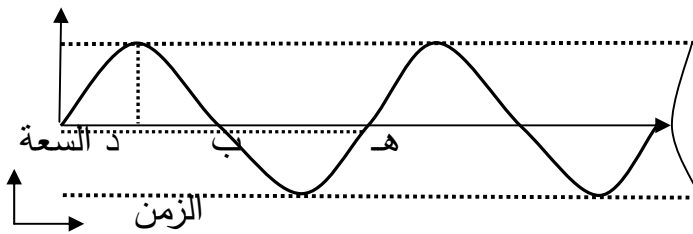
موجة صوتية



\*شوكة رنانة أصدرت ذبذبة واحدة وأوقفت، فتولد منها موجة صوتية\*

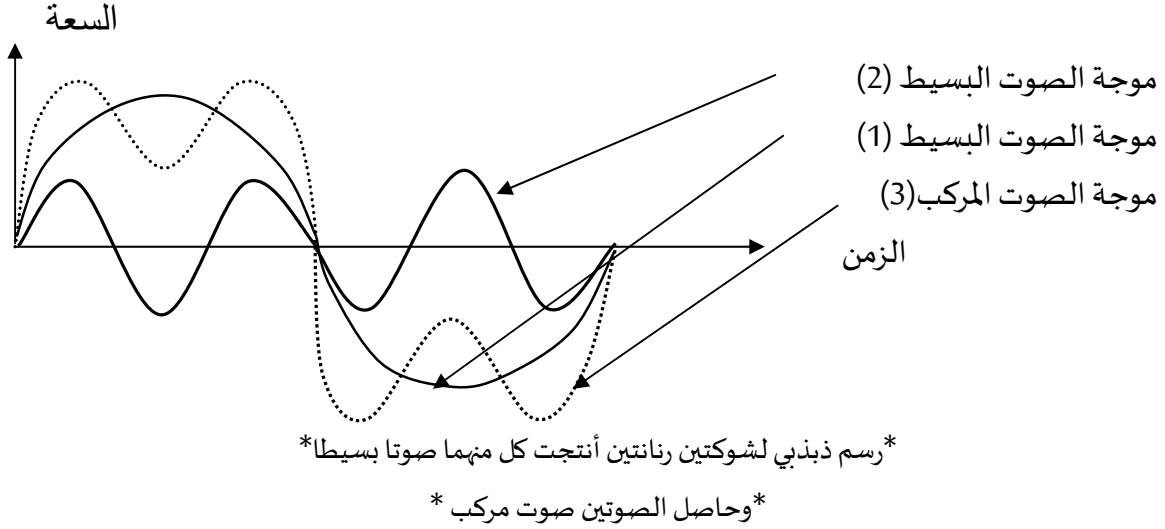
أنواع الصوت: الصوت نوعان: إما بسيط وإما مركب.

1- الصوت البسيط: وينتج عن تذبذب جسم متجانس في وسط صامت (عدم وجود ضجيج)، مثل شوكة رنانة أو وتر عود، وهو نادر الوجود في الطبيعة (يصطنع). ويمثل هذا الصوت بدالة جيبيية في بيان، كما في الشكل الآتي:

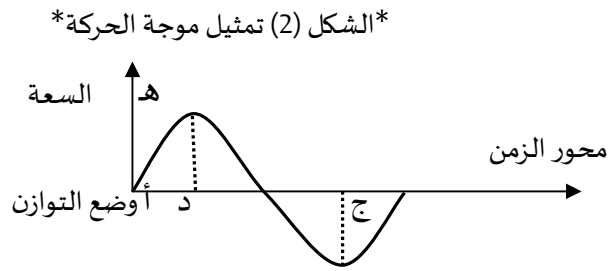
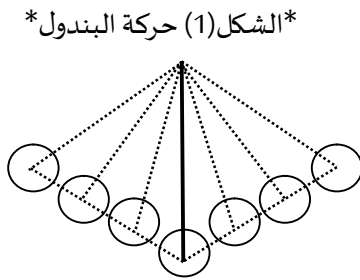


\*رسم ذبذبي لشوكة رنانة في حالة اهتزاز\*

2-الصوت المركب: هو صوت يتشكل من مجموعة من الأصوات البسيطة المختلفة الخصائص. ومعظم الأصوات التي نسمعها وندرکها هي أصوات مركبة. ويمكن تمثيل موجة هذا الصوت أيضا بدالة جيبيية. كما في الشكل الآتي<sup>1</sup>:

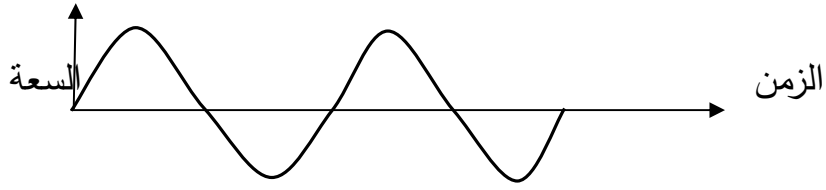


نوع حركة الصوت: حركة الصوت ليست واحدة، بل قد تكون دورية منتظمة، أو غير دورية.  
1- حركة دورية منتظمة: وذلك كحركة وتر العود، والشوكة الرنانة، وتذبذب الوترين الصوتيين عند إخراج بعض الأصوات. وقد تكون حركة الصوت الدورية المنتظمة بسيطة أو مركبة.  
أ- أما الحركة الدورية المنتظمة البسيطة: فيمكننا تشبيهها بحركة النواس أو البندول، كما في الشكل (1)، ويمكننا تحويل حركة البندول إلى الرسم التالي الذي يمثل موجة الحركة بدالة جيبيية كما في الشكل (2).



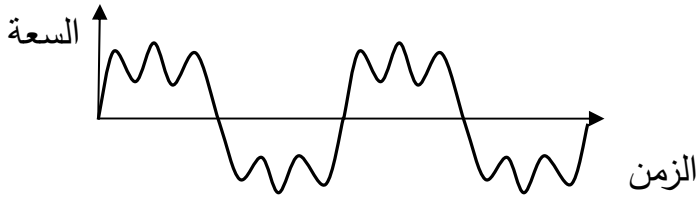
فحركة الجسم المتذبذب من (أ) إلى (ج) هي فترة تذبذب، أو تذبذب مزدوج، وتسمى أيضا دورة. والمسافة (د-هـ) هي سعة الذبذبة، والخط (و) هو محور الزمن. وبذلك يمكن تمثيل ذبذبة الحركة الدورية المنتظمة البسيطة بالمنحنى الجيبي التالي:

<sup>1</sup> إرنست بولجرام، مدخل إلى التصوير الطيفي للكلام، ترجمة: سعد عبد العزيز مصلوح، عالم الكتب، ط2002، ص45.



\* حركة دورية منتظمة بسيطة \*

ب- أما الحركة الدورية المنتظمة المركبة: فيمكن توضيحها بالرسم التالي:



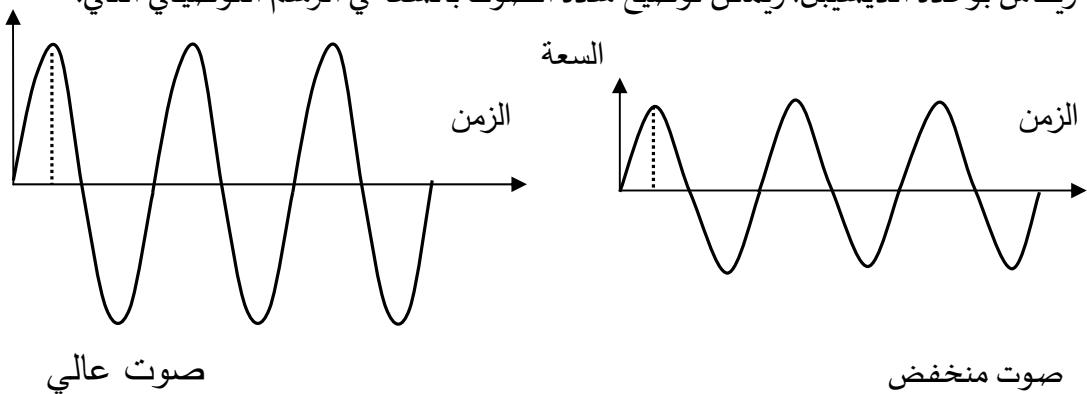
\* حركة دورية منتظمة مركبة \*

## 2- الأصوات غير الدورية:

ويمكن التمثيل لها بأصوات الرعد، والطلقات النارية، وبعض الأصوات الكلامية، وهذه الأصوات قد تكون بدورها بسيطة (Simple) وهي قليلة نادرة. أو مركبة (Complex) وهذه تشمل معظم الأصوات غير الدورية التي نسمعها.

### الخصائص الفيزيائية للصوت:

1- الشدة الصوتية: هي ضغط الهواء الممارس من طرف الموجة الصوتية. بجوار الأذن، ويعبر عنها في التمثيل بالسعة. أو هي الصفة الفيزيولوجية التي نميز فيها بين الصوت العال وصوت منخفض، ويقاس بوحدة الديسيبل. ويمكن توضيح شدة الصوت بالسعة في الرسم التوضيحي التالي:



لاحظ أن:

\* الصوت القوي أو العالي: ناتج عن سعة الحركة الاهتزازية الكبيرة.

\* الصوت المنخفض ناتج عن سعة الحركة الاهتزازية الصغيرة.

2- التواتر: مصطلح "تواتر" أو "تردد" (Fréquence) يعني عدد الدورات الكاملة في الثانية مثلا. وهذا

التردد يختلف باختلاف وزن الجسم، وطوله، ونسبة الشد، والكتلة والشكل... إلخ.

- فالجسم الثقيل يتذبذب تذبذبا أبطأ من تذبذب الجسم الخفيف.

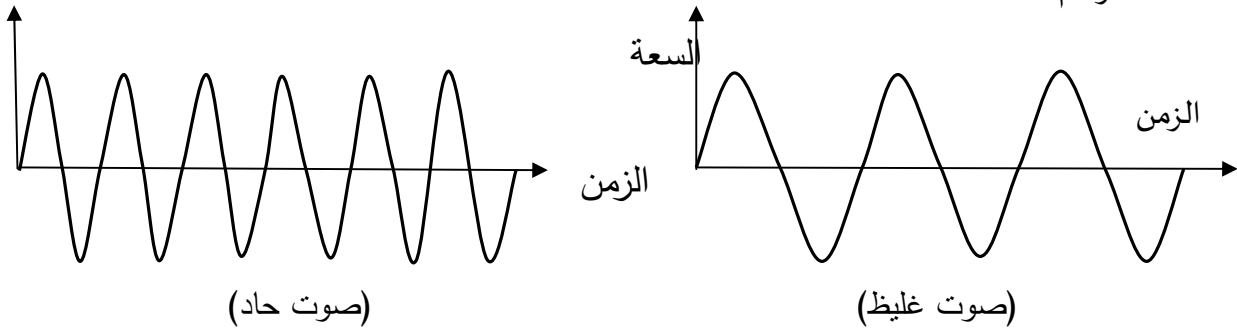
- والشوكة الرنانة ذات الذراعين الطويلين تتذبذب أبطأ من الشوكة ذات الذراعين القصيرين.

- والكتلة الكبيرة أو المتسعة تتذبذب أبطأ من الكتلة الصغيرة أو الضيقة... إلخ.

ويمكن أن نعبر عن التواتر بأنه: الصفة الفيزيولوجية التي نميز بها بين الصوت الحاد والصوت

الغليظ، كصفير البلابل، ونعيق الغربال. ويقاس بوحدة تسمى "الهرتز" (HERTZ) وتختصر بـ(HZ).

لاحظ الرسم:



لاحظ أن:

\* الصوت الحاد ناتج عن تواتر كبير (عدد الدورات في الثانية).

\* الصوت الغليظ ناتج عن تواتر قليل (عدد الدورات الثانية).

ومما لاحظته العلماء أن أقل تردد يمكن للأذن البشرية أن تسمعه هو التردد البالغ حوالي (16) دورة

في الثانية إلى (20) دورة في الثانية ويمكن أن نعبر عنها بـ: 16 هرتز إلى 20 هرتز. أما أعلى تردد تستطيع

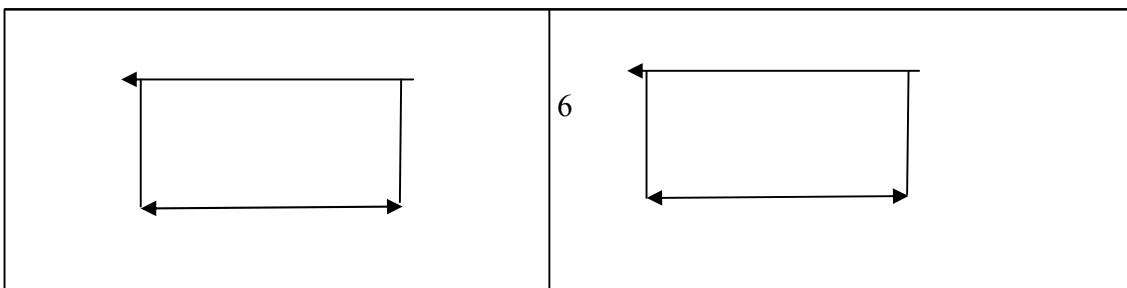
الأذن البشرية العادية سماعه فقد يصل من 16000 هرتز إلى 20000 هرتز أو دورة في الثانية. أما

مقدار الشدة الصوتية الذي تتحمله الأذن البشرية فقد يصل إلى حوالي (140 ديسيبل).

و"الديسيبل" ليس وحدة قياس ثابتة، إنه مقياس يقع بين عتبي السمع والألم، مما يعني أن الأذن

البشرية القادرة على إدراك الأصوات الواقعة بين (16 هرتز) و(20000 هرتز)/د.ثا قادرة نظريا على

إدراك مقياس شدة الأصوات الواقعة بين (صفر ديسيبل) و(140 ديسيبل).

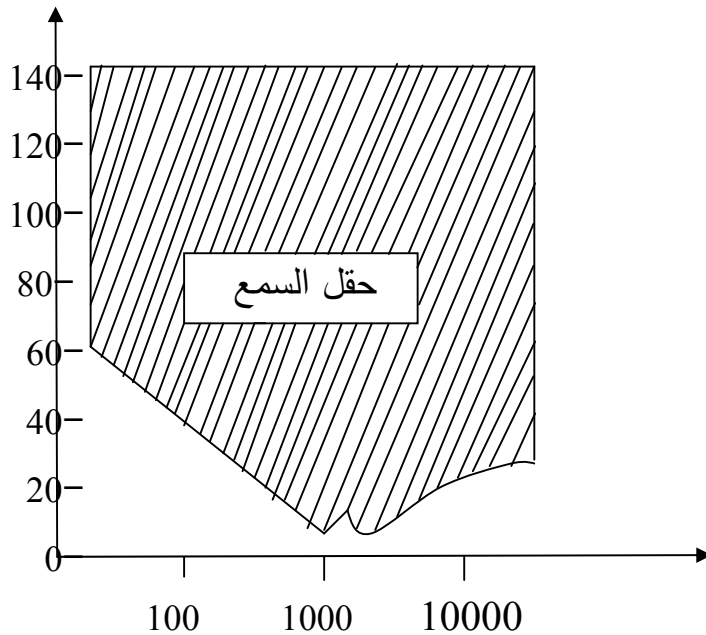


16 د/ثا (هرتز) 16000-20000 د/ثا (هرتز) صفر (دسيبل) 140 (دسيبل)

التردد الذي تستطيع الأذن البشرية سماعه شدة الصوت الذي تستطيع الأذن البشرية تحمله

صوت غليظ صوت حاد صوت منخفض صوت عال

ويعتقد الدارسون أن الأذن البشرية العادية لا يمكن لها أن تستبين الأصوات التي يزيد ترددها على (20000) هرتز، ربما لأن طبلة الأذن، وسلسلة العظميات المتصلة بها لا يمكن أن تتذبذب أسرع بدرجة كافية، ولكن دارس الأصوات يهتم بترددات أقل من التي سبق ذكرها؛ ذلك أن أسرع الذبذبات التي ينقلها الهاتف مثلا قد تصل إلى (350 هرتز). بل إن معظم التواترات أو الترددات ذات الأهمية في تحليل الكلام يقع دون (8000 هرتز أو د/ثا). وكذا الأمر بالنسبة لشدة الصوت، فالأذن البشرية العادية لا تستطيع أن تتحمل الصوت الذي تتجاوز شدته (140 دسيبل) لاحظ عتبة السمع وعتبة الألم في الرسم الآتي<sup>2</sup>:



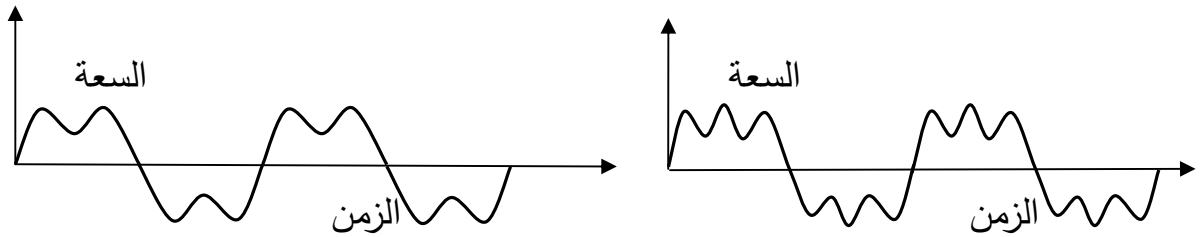
فالأصوات التي يقل ترددها عن (16 د/ثا) لا تسمعها الأذن البشرية العادية، لأنها تقع تحت السمع، بينما لا تسمع الأذن الأصوات التي يتعدى تواترها (20000 د/ثا) لأنها تقع فوق السمع. حيث تصل

<sup>2</sup> عبد الفتاح إبراهيم، مدخل في الصوتيات، دار الجنوب للنشر، تونس، ص64.

الأذن – بالنظر إلى شدة الصوت أيضا(140ديسيبل)- إلى عتبة الألم، أما إذا تجاوزت هذه العتبة فقد يؤدي ذلك إلى تدمير الأذن، وذلك كما يحدث أحيانا للإنسان من صوت انفجاري قوي.

3- نوع الصوت أو طابعه (Timbre): هو فرق يظهر بين نغمتين اتفقتا في "الشدة" وفي "التواتر"، ولكنهما أنتجتا بآلتين مختلفتين مثل "البيانو" و"الكمان". وهذه الخاصية لا تكون إلا في الأصوات المركبة، والعللة الفيزيائية لاختلاف هذين الصوتين تتعلق بعدد النغمات التوافقية لكل منهما والمقصود الأصوات البسيطة أو المدروجات التي تدخل في تكوين كل صوت. مع ملاحظة أن طابع الصوت ينشأ عن قابلية النغمات التوافقية لأن تكون مسموعة. فإذا تركبت ذبذبتان ذاتا تردد متماثل فإن النتيجة زيادة السعة، ومن ثم يقوى الصوت (يصبح عاليا).

ويمكن التمثيل لهذه الخاصية بمنحنيين جيبيين يمثلان صوتين: أحدهما مركب من صوتين بسيطين والثاني من ثلاثة أصوات بسيطة (نغمات توافقية): \*صوتان متفقان شدة وتواترا ومختلفان طابعا أو نوعا\*



(موجة الصوت الثاني مركبة من مدرجتين)

(موجة الصوت الأول مركبة من ثلاث مدرجات)

الرنين: إذا كانت لدينا شوكتان رنانتان متجاورتان لهما التردد نفسه، أو درجتين متقاربتين في التردد، وقرعنا إحداهما دون الأخرى، فإننا سنلاحظ أن الشوكة الثانية ستكون في مجال يجعلها تتذبذب تلقائيا، وتضخم تذبذب الشوكة الأولى التي قرعت، ويسمى نقل التذبذب من جسم إلى آخر بالرنين، ويسمى الجسم الذي يضخم صوتا محدثا بـ"المرنان" (Résonateur) أو بتعبير آخر: إذا وجد جسم مرن في طريق الموجة الصوتية المحدثه، واستطاعت هذه الموجة تحريك ذلك الجسم المرن، ولا يحصل ذلك إلا إذا كان الجسم لديه قابلية للتذبذب بالقيمة نفسها للتردد الخاص بالموجة الصوتية القادمة، سمي ذلك "بالرنين". وتختص التجويفات عموما بأنها تقوم بوظيفة "المرنان"، كالتجويفات الملحوظة في العود والكمان وغيرها من الآلات الموسيقية المجوفة.



والخلاصة: الرنين هو تقوية الصوت المصدر بواسطة جسم يعترض طريقه، ويكون قابلاً للتذبذب بالقيمة نفسها للتردد بموجة الصوت المصدر؛ بحيث تتغير كل الخصائص للصوت المقوى (الشدة- التواتر- الطابع).

الترشيح: هو اختبار المرنان لأصوات معينة يقوم بتعديلها، حيث يقوم بتقوية-أو تضخيم- بعض الترددات لصوت مركب دون سواها، ويتعلق الأمر بأبعاد التجويف الخاص بالمرنان أو بقابلية الوتر مثلاً للاهتزاز. وهذه العملية تسمى "الترشيح". والجسم الذي يقوم بهذه العملية يسمى "المرشح". ويمكن أن يتم التحليل الصوتي (الفيزيائي) لصوت مركب بالاستناد إلى تحديد عدد الذبذبات التي يتكون منها، وتحديد السعة أو التوتر، ومثل هذا التحليل يمكن أن يتم:

\* بمساعدة تحليل رياضي للمنحنى الصوتي (الجبي) حيث يمكن تحليل أي منحنى مركب وتبسيطه في عدد من المنحنيات الجيبية.

\* وبمساعدة مرشح صوتي (Filtre)، أو بواسطة الأذن البشرية القادرة على عزل النغمات التوافقية عن بعضها.

الحزم الصوتية (Formats): يطلق مصطلح الحزم الصوتية على الترددات المقواة أو المضخمة أو مجموعة الترددات التي تشكل نوع الصوت أو طابعه (Timbre)، وتميزه من الأصوات الأخرى ذات الأنواع المختلفة، وتسمى بالبواني.