إن حدوث الصوت وانتشاره يشترط توفر أمور أساسية وهي

1.مصادر الموجات السمعية في الطبيعة كثيرة جدا وهي الخيوط المهتزة (مثل أوتار الكمان، البيانو، القيثارة والحبال الصوتية للإنسان) والأعمدة الهوائية المهتزة (مثل الأرغن، أنابيب الرنين ومسكن الأصوات في السيارات) والصفائح والأغشية الرقيقة المهتزة (مثل الطبول، الدفوف، وأجهزة تكبير الصوت). وتختلف استجابة الأذن البشرية للصوت المسموع باختلاف خواص الصوت من حيث الشدة والتردد والنوع.

2.وجود وسط مادي مثل الهواء والماء والمواد الصلبة.

تنتشر الموجات الميكانيكية عبر اهتزاز جزيئات الوسط حول موضع اتزانها حيث تنتقل الاضطراب أوالطاقة من جزئ إلى آخر بينما تظل جميع الجزيئات في موضعها، ومن ثم تنتقل الموجة عبر الوسط.

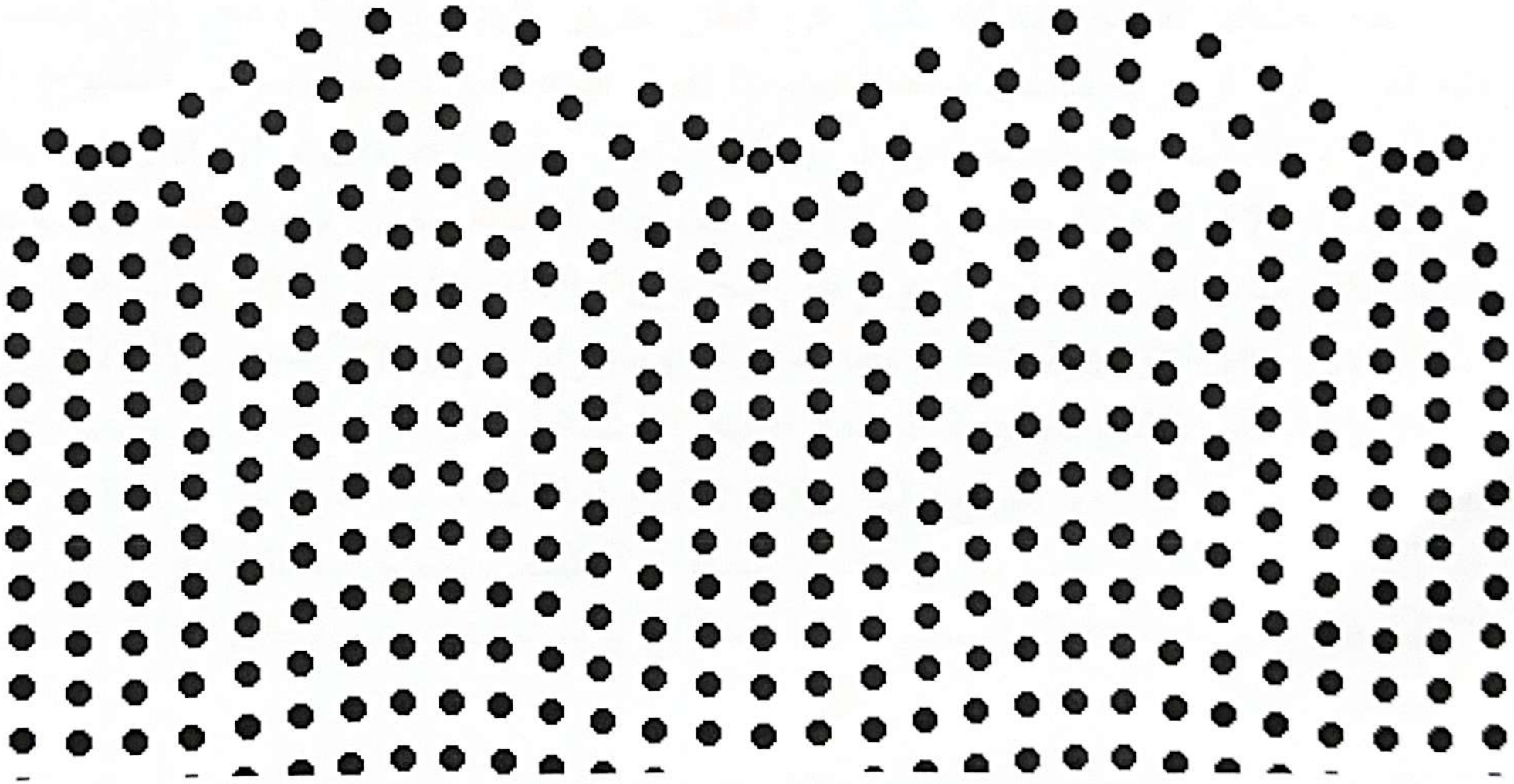
الخواص الأساسية لانتقال الحركة الموجية الميكانيكية

أن انتقال الحركة الموجية الميكانيكية في أي وسط مادي يعزى إلى خاصيتين أساسيتين لذلك الوسط هما خاصيتا المرونة والقصور الذاتي.

1.خاصية المرونة: تعتبر خاصية المرونة لأي جسم أو وسط مادي ذات أهمية جوهرية في حدوث وانتقال الحركات الاهتزازية والموجية. والمقصود بمرونة الوسط هي خاصيته على مقاومة أي تشوه فيه وقابليته على استعادة شكله أو حجمه أو وضعه بعد زوال القوة المشوهة المؤثرة عليه. والقانون الذي يتحكم في سلوك المواد المرنة هو قانون هوك. وهذا القانون يشير إلى أن أي قوة خارجية تسلط على جسم ما تحدث فيه تشويها يؤدي إلى تغيير في الشكل أو الحجم أو كليهما.

راجع الصفحات 16-17-18-19-20-21- 22 في الكتاب المقرر لمعرفة المزيد عن الموضوع

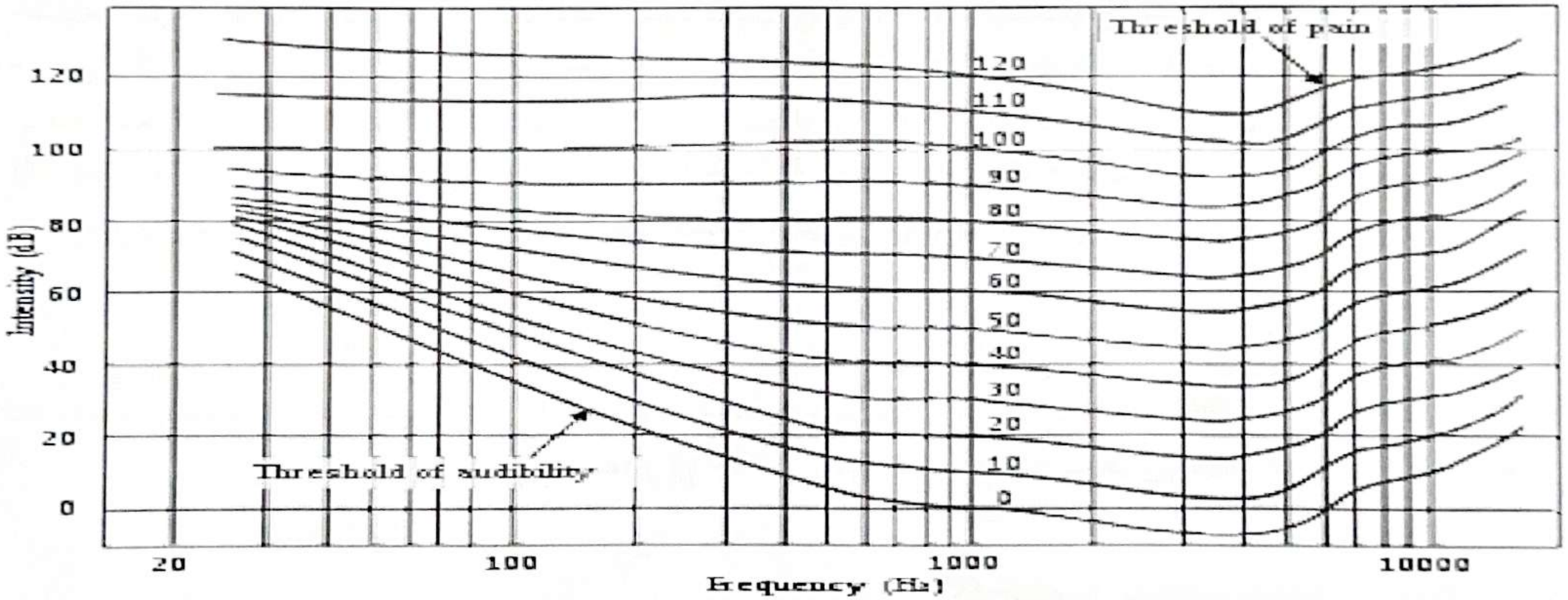
2.خاصية القصور الذاتي:أن خاصية القصور الذاتي تمثل صفة استمرارية الجسم أو أجزاء الوسط على البقاء في حالة حركية ثابتة مالم تؤثر عليه قوة خارجية تغير تلك الحالة. والقانون الذي يصف هذه الحالة هو قانون نيوتن الاول في الحركة الذي يدعى بقانون الاستمرارية والذي ينص على أن: كل جسم يبقى في حالة من سكون او حركة منتظمة على خط مستقيم مالم يضطر لتغيير هذه الحالة بقوى خارجية تؤثر فيه. ويوصف أي جسم بدلالة كمية مادته التي تعرف بالكتلة. وكتلة الجسم تحدد مقدار مقاومته لتغيير حالته الحركية. وعليه فان هذه الخاصية (الكتلة) تمثل القصور الذاتي. ولذلك فان الكتلة هي المقياس الكمي للقصور الذاتي. وغالبا ما يعبر عن خاصية الاستمرارية أو القصور الذاتي لأي جسم من خلال كتلة وحدة الحجوم أي الكثافة. وعلية فان القصور الذاتي لأي وسط مادي يزداد بازدياد كثافته. أي أن كثافة الوسط تحدد اثر القوة المؤثرة فيه. فكلما ازدادت كثافة الوسط قلت استجابته لتأثير القوة الخارجية فيه لتغيير حالته الحركية. الكثافة رياضيّاً بأنّها حاصل قسمة الكتلة على الحجم



استجابة الأذن البشرية للصوت

إن الأذن البشرية العادية جهاز فائق الحساسية للصوت يفوق في تحسسه أدق الأجهزة المصنوعة لهذا الغرض. وهناك حدود لحساسية الأذن للصوت من حيث الشدة والتردد. فالحد الأدنى لشدة الصوت المسموع $10^{-12}W/m^2$ وهذا يقابل اضعف صوت تحسه الأذن البشرية ويعادل ضغط صوتي مقداره $20x10^{-6}N/m^2$ وهذا الحد من الضغط يدعى بحافة السمع (عتبة السمع Threshold of audibility) أنظر الشكل (1). إن هذا التغير الضئيل في مقدار الضغط $20x10^{-6}Pa$(ويعادل جزء واحد من $5x10^9$ جزء من الضغط الجوي الاعتيادي) يسبب إزاحة لغشاء الطبلة بمسافة تقل عن قطر جزئ الهيدروجين. ومع هذه الحساسية المفرطة فان الأذن البشرية تتحمل ضغطا صوتيا يفوق قيمة أدنى ضغط صوتي مسموع بأكثر من 10^6مرة. وهذا الحد من الضغط يدعى بحافة الألم (عتبة الألم Threshold of pain)، كما في الشكل (1). وهكذا يتضح إن الأذن البشرية العادية تحس بالموجات التضاغطية كصوت إذا كان ضغطها الصوتي يتراوح بين الحدين$20x10^{-6}$ Paإلى 20Pa وإذا كان ضغط الصوت اقل من $20x10^{-6}$ Pa فانه لم يعد مسموعا وإذا زاد عن 20Pa يسبب الألم للأذن. أما من ناحية التردد فان الأذن البشرية العادية تسمع الأصوات التي تقع ترددتها ضمن المدى المحصور بين حوالي 20Hz إلى حوالي 20000Hz، أما الموجات التي تقع ترددتها خارج هذا النطاق فلا يمكن للأذن البشرية أن تحسها كصوت. وتسمى الموجات التي يقل ترددها عن 20Hz بالموجات تحت السمعية وتسمى الموجات التي يزيد ترددها عن 20000Hz بالموجات فوق السمعية.

إن الشكل (1) يوضح مديات الشدة والتردد للموجات التضاغطية التي يمكن للأذن العادية أن تحسها كصوت. في هذا الشكل نلاحظ أن أدنى شدة للصوت المسموع التي تمثل حافة السمع ليست ثابتة مع التردد. إذ يلاحظ أن الأذن العادية تكون حساسيتها أعظم ما يمكن للأصوات التي تقع ترددداتها ضمن المدى المحصور بين 700Hz إلى حوالي 6000Hz وفي هذا المدى تكون قيمة اقل ضغط صوتي مسموع $20x10^{-6}$ Pa، ولهذا السبب تم اعتبار هذه القيمة مرجعية في الصوتيات. وتضعف حساسية الأذن للصوت كلما ابتعد التردد عن هذا المدى سواء بالزيادة أو النقصان. وعند الترددات الواطئة التي تقل عن حوالي 30Hz أو الترددات العالية التي تزيد عن حوالي 12000Hz تكون الأذن العادية غير حساسة إلى حد بعيد، مما يقتضي أن ترتفع شدة الصوت التي تسبب الألم للأذن (حافة الألم) تكاد تكون ثابتة مع التردد. مما تقدم يتبين إن استجابة الأذن السليمة للصوت ليست خطية بل معقدة وتختلف باختلاف تردد الصوت وشدته. وهذه الصفة المميزة للأذن البشرية تفيد كثيرا في تمييز الأصوات المختلفة.



الشكل (1) يوضح إن الأذن العادية السليمة تسمع الأصوات التي تقع شدتها بين حافتي السمع والألم والمحصورة تردداتها بين 20Hz و 20000Hz.

الخصائص التي يعتمد عليها السامع لتمييز الأصوات

واهم الخصائص التي يعتمدها السامع لتمييز الأصوات المختلفة هي العلو والدرجة والنوع.

1.العلو: Loudness

يرتبط العلو بشدة الصوت، بينما تعرف الشدة: بأنها المعدل الزمني لتدفق الطاقة الصوتية خلال وحدة المساحة، وهي كمية فيزيائية يمكن قياسها وحسابها بدقة إلا أن العلو يتوقف على تأثير شدة الصوت على الأذان (أي على حكم السامع). وعليه يعرف العلو: ذلك الإحساس الذي يتوقف على شدة الصوت المسموع.

س:اشرح العلاقة بين علو الصوت وشدته.

ج:مع أن علو الصوت يزداد مع ازدياد شدته إلا أن الأذن ليست بنفس الحساسية للأصوات ذات الترددات المختلفة ونتيجة لذلك فالإذن لا تستطيع سماع الصوت ذي التردد العالي بنفس العلو الذي تسمع به صوتا تردده اقل وشدته مساوية لشدة الصوت الأول. إن استجابة الأذن البشرية للأصوات التي لها نفس التردد ولكنها تختلف بالشدة تتغير لوغاريتميا وليس خطيا. وهذه النتيجة تتفق مع علاقة فسلجية أكثر شمولا تدعى قانون ويبر-فخنر (Weber-Fechner Law) وطبقا لهذا القانون: أن مقدار الإحساس لعلو الصوت L يتناسب طرديا مع لوغاريتم شدة الصوت I، أي أن

$$L \alpha Log I \qquad (1)$$

ويجب أن نلاحظ إن هذا القانون لا ينطبق بدقة عند حدود السمع الدنيا والعليا (أي قرب حافتي السمع والألم)، أما في المديات الأخرى فان القانون يعطي نتائج جيدة. ومن العلاقة (1) نحصل

$$L = k Log I \qquad (2)$$

حيث أن k مقدار ثابت، وبمفاضلة المعادلة (2) نحصل

$$dL/dI = k/I \qquad (3)$$

إن المقدار dL/dI يدعى بحساسية الأذن.

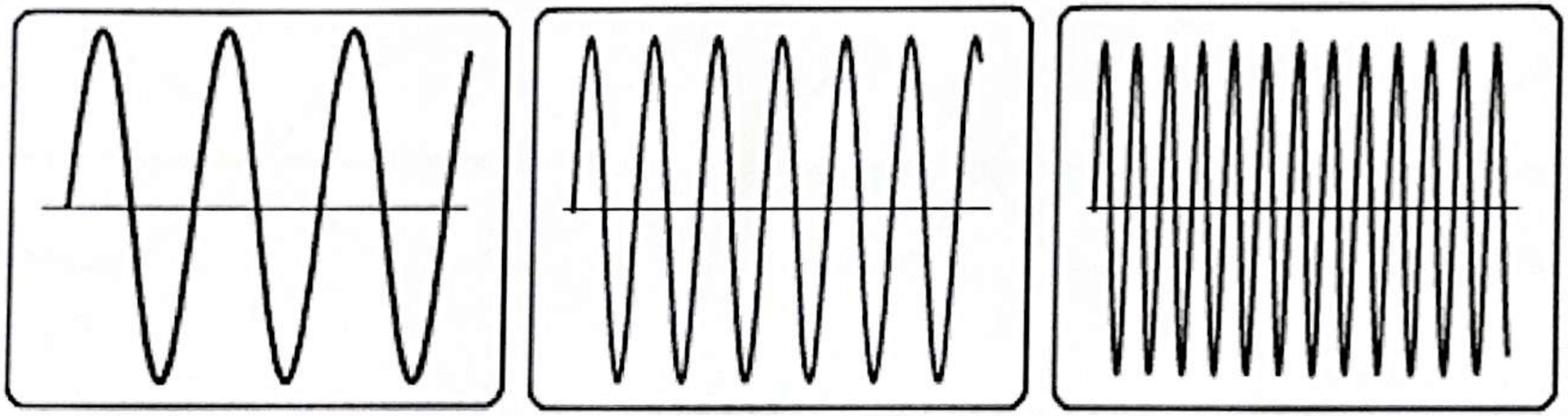
س:ماذا تلاحظ من العلاقة (3)؟ وضح ذلك؟
ج:يلاحظ من العلاقة (3) إن حساسية الأذن تقل مع زيادة شدة الصوت (العلاقة عكسية بينهما). وهذا يعني أن الأذن تحس التغيرات في شدة الصوت بصورة أفضل كلما قلت شدة الصوت المسموع. أي بعبارة أخرى إن شدة الصوت يجب أن تصبح عشرة أمثالها لكي تحسها الأذن وكأنها أصبحت أعلى مرتين، وان الشدة يجب أن تتضاعف مئة مرة لتبدو للأذن أنها أعلى ثلاث مرات وهكذا... ولما كان العلو هو إحساس سمعي يتوقف على حكم السامع ذاته، أي انه ظاهرة فسلجية وليست فيزيائية لذلك فانه يتعذر قياسه بدقة بأي جهاز.

س:علام يعتمد علو الصوت؟
ج: إن علو الصوت يعتمد على: 1. شدة الصوت، 2. حساسية الأذن.
س:علام تعتمد شدة الصوت؟
ج: تعتمد شدة الصوت على عدة عوامل
1.سعة الاهتزاز للمصدر. حيث أن شدة الصوت الناتج من أي مصدر صوتي تتناسب طرديا مع مربع سعة اهتزازه.
2.المساحة السطحية للسطح المهتز. حيث أن شدة الصوت الناتج من مصدر مهتز تتناسب طرديا مع مساحة السطح المهتز.
3.المسافة بين المصدر والمستلم. حيث أن شدة الصوت الناتج من مصدر مهتز تتناسب عكسيا مع مربع المسافة الفاصلة بين المصدر ونقطة الاستلام.

2.درجة الصوت: Pitch

تعرف درجة الصوت بأنها ذلك الإحساس الذاتي الذي يتوقف على تردد المصدر المسموع، أي أنها حدة نغمة الصوت كما تشعره الأذن البشرية. فمثلا عند نقر وتر مشدود فان الوتر يهتز ويستطيع أي سامع أن يقرر درجة الصوت الناتج من اهتزاز الوتر وإذا ما ازداد الشد في الوتر فان تردد الاهتزاز يرتفع ويستطيع السامع أن يقرر حالا أن درجة الصوت الجديد أعلى من درجة الصوت الأول، وفي هاتين الحالتين تعتبر درجة الصوت مرادفا

لترددده وهكذا يتضح أن درجة الصوت هي الحكم الذي يصدره السامع على الأصوات ويرتبها وفق سلم في مخه وفق إحساسه لترددها. أن درجة الصوت لا تعتمد على علو الصوت آو نوعيته. فأصوات النساء والأطفال درجاتها عالية لان ترددداتها مرتفعة بينما صوت الرجل الكبير واطئة لان تردده منخفض. إذا كان الصوت المسموع ذا تردد منفرد (نغمة نقية) فعندئذ يمكن تمييزه تماما بمعرفة علوه ودرجته فقط. أما إذا كان الصوت معقدا أي مركبا من خليط من الترددات فعندئذ نحتاج لتمييزه إلى معرفة علوه ودرجته ونوعيته.



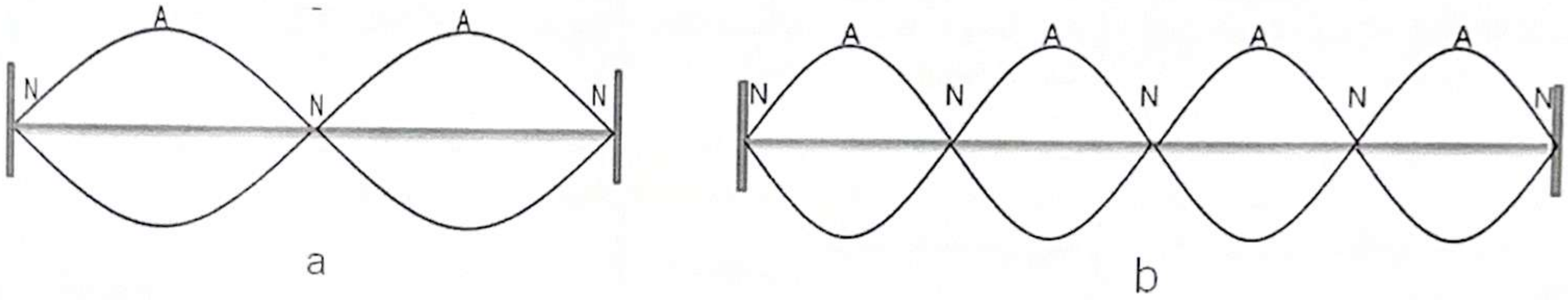
Low pitch-
Low frequency-
Longer wavelength-

High pitch-
High frequency-
Shorter wavelength-

3.نوعية النغمة أو الصوت: Quality

إن نوعية النغمة هي التي تمكننا من التمييز بين صوتين لهما نفس العلو والدرجة ولكنهما صادران من مصدرين مختلفين. وهذا يعزى إلى الاختلاف في عدد وترتيب وشدة التوافقيات التي يتألف منها كل صوت. فمثلا لو كان لدينا مقياسان للصوت sonometer (صونومتر) فيهما وتران متماثلان تماما من حيث قوة الشد والطول ومساحة المقطع العرضي والكثافة، ثم لمس الوتر الأول من منتصفة والثاني من ربعه لمسا خفيفا فعندئذ سنلاحظ أن الوتر الأول سيهتز بكاملة وبجزأين في نفس الوقت، وبذلك ينتج نغمتين هما: النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الأولى.

بينما الوتر الثاني سيهتز بكاملة وبأربعة أجزاء بنفس الوقت. وبذلك ينتج نغمتين هما: النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الثالثة. انظر الشكل (2) الذي يمثل الحالتين. وعند سماع الصوتين الناتجين من اهتزاز الوترين نلاحظ أن هناك اختلافا بينهما ناتجا من اختلاف النوعية، وهذا يعزى إلى اختلاف النغمات التوافقية المصاحبة للنغمة الأساسية. وعلى هذا الأساس يمكن التمييز بين الأصوات المنبعثة من الآلات المختلفة في جوقة موسيقية حتى وان كانت جميعها تعزف نغما واحدا بنفس الشدة.



الشكل (2) يبين وترين في حالة اهتزاز: a:الوتر يهتز بكاملة وبجزأين (النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الأولى)، b: الوتر يهتز بكاملة وبأربع أجزاء (النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الثالثة).

قارن بين أنواع الموجات الصوتية

الموجات تحت السمعية	الموجات السمعية	الموجات فوق السمعية
هي الموجات التي يقل ترددها عن 20Hz.	هي الموجات التي لا يقل ضغطها الصوتي عن 0.00002Pa ويتراوح ترددها بين 20Hz و20000Hz.	هي الموجات التي يزيد ترددها عن 20000Hz.
لا تستطيع الأذن البشرية الإحساس بها .	تمثل الصوت المسموع بواسطة الأذن البشرية العادية.	تقع خارج نطاق حاسة الأذن البشرية .
مثل هذه الموجات تتولد عن المصادر الضخمة كما عند الهزات الأرضية أو العواصف أو الأعاصير وبعض الآلات الثقيلة مثل الحفار.	الأذن البشرية لا تتحسس بالتساوي الأصوات ذات الترددات المختلفة حتى إن تساوت شدتها.	يمكن توليدها من الحركة الاهتزازية والإنزلاقيه لطبقات القشرة الأرضية
لذلك فهي مهمة جدا في رصد الزلازل وتتبع نشاط البراكين.		لها العديد من التطبيقات المهمة في الصناعة تُستخدم في تنظيف الساعات والمجوهرات والأجهزة الدقيقة، وفي الطب تستخدم في تشخيص الأمراض وتفتيت الحصى في الحويصلة الصفراوية والكُلى وفي الكشف عن نمو الجنين.
تستطيع بعض الحيوانات الإحساس بالزلازل قبل حدوثها.		يستطيع الوطواط والكلب، وأنواع أخرى كثيرة من الحيوانات، سماع موجات فوق سمعية.
الآلات الثقيلة التي تصدر موجات تحت سمعية لها تأثير مدمر لحاسة السمع وصحة الإنسان.		