جامعة البصرة

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

محاضرات في الصوت والحركة الموجية

للمرحلة الثانية

إعداد

الأستاذ الدكتور حمزة بكر سلمان

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل الاول Chapter one
الصوت منشؤه وانتقاله

علم االصوت

إن ما نسمعه يصلنا عبر موجات الصوت ، وما نراه يصلنا عبر موجات الضوء ، والطاقة التي تزودنا بها الشمس تصلنا عبر الموجات أيضاً وإن جميع الموجات تعتبر وسيلة لنقل الطاقة . وإن الموجات الصوتية هي موجات ميكانيكية تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها .

يعرف الصوت : بأنه شكل من أشكال الاضطراب ينتقل من نقطة إلى أخرى عبر وسط مادي (والمقصود بالاضطراب بأنه نمط لحالة فيزياوية يولده مصدر متحرك) ، والأمثلة على ذلك كثيرة منها اهتزاز الشوكة الرنانة يولد صوت بشكل تضاغط وتخلخل واهتزاز الوتر المشدود يولد قمة وقعر .

إن ما تدركه الأذن يسمى صوت ، وإن المؤثر الخارجي الذي يسبب هذا الإدراك يسمى مصدر الصوت . وبذلك فأن الصوت له معنيان :

1) فسيولوجي (سيكولوجي) : إن إدراكنا للصوت يتوقف على تأثير الجهاز العصبي بمؤثر معين يحدث الإحساس بالسمع ، ولولا وجود الأذن في مكان حدوث الصوت لا يحدث الإحساس بالسمع .

2) فيزياوي : وهو الطاقة التي تنتقل في الوسط المحيط بالجسم المصوت حتى لو لم توجد أذن تدرك الصوت الصادر عنه .

أصل الصوت :

إن حدوث الصوت وانتشاره يتطلب توفر آمرين أساسيين هما :

1) مصدر للصوت 2) وسط مادي ينتقل خلاله الصوت

1) مصدر الصوت :

إن الصوت الذي نسمعه يتطلب مصدر مهتز يولد الصوت .إن الموجات الصوتية هي أحد أهم أشكال الحركة الموجية الميكانيكية وأنها تنتقل في الأوساط المادية الصلبة والسائلة والغازية .

إن الموجات الصوتية في الهواء وهي عبارة عن سلسلة من التغيرات في ضغط الهواء يمكن للأذن البشرية إن تلتقطها كصوت . إن المقصود بضغط الهواء هو الضغط الجوي الموضعي وهو ثابت في حالة عدم وجود اضطراب ، يسمى مقدار التغير في الضغط الجوي الموضعي الناتج من الاضطراب بـ(الضغط الصوتي) وهو صغير جداً مقارنة مع الضغط الجوي الموضعي .

إن الأذن البشرية تحس تغيرات الضغط البالغة (10^{-6}=)1/1000000 من الضغط الجوي وتؤذيها تغيرات الضغط البالغة (10^{-3}=)1/1000 من الضغط الجوي .

غالباً ما يكون عدد مرات التغير في ضغط الهواء الجوي كبير كي يمكن التقاط هذه التغيرات كصوت والتي يجب إن لا يقل عدد مرات التغير في الضغط عن عشرين (20) مرة في الثانية الواحدة .عندما يمر اضطراب (موجة صوتية) عبر نقطة معينة فأن تغيرات صغيرة في ضغط الهواء تحدث حول متوسط قيمة الضغط الجوي P_o وبذلك يكون المقدار الكلي عند أي لحظة مساوي إلى $P_o \pm P(t)$ حيث إن: $P(t)$ يمثل الضغط الصوتي الآني وهو مقدار متغير مع الزمن ، وأنه يكون موجباً عندما تكون هناك زيادة في الضغط الموضعي فيدعى بـ (التضاغط) ، ويكون سالباً عندما تكون هناك نقصان في الضغط الموضعي فيدعى بـ (التخلخل).

إن عدد مرات التغير بالضغط في الثانية الواحدة يُدعى بذبذبة الصوت (أو تردد الصوت) ويقاس بوحدات عدد الذبذبات في الثانية الواحدة (ذبذبة / ثانية Cycle/sec أو الهيرتز (Hertz (Hz) .

إن تردد الموجات التي يمكن للأذن البشرية التقاطها كصوت تمتد بين (20 - 20000) (هيرتز)Hz . وإن الموجات التي ترددها أقل من (20 Hz) تسمى بالموجات تحت السمعية (أو تحت الصوتية) Subsonic or Infrasonic waves .إن الموجات التي ترددها أعلى من (20 KHz) تسمى بالموجات فوق السمعية (أو فوق الصوتية) (Ultrasonic waves) . وإن كل الموجات تحت السمعية والفوق السمعية لا يمكن للأذن البشرية التقاطها .

إن مقدار التغير في ضغط الهواء (الضغط الصوتي) الذي يمكن للأذن البشرية إن تستجيب له كصوت يمتد بين $(2x10^{-5}\text{-}20)N/m^2$ نيوتن /م^2 (باسكال) ، ويسمى الحد الأدنى لضغط الصوت بحافة السمع وأي ضغط دونه لا يمكن تحسسه كصوت ، ويسمى الحد الأعلى لضغط الصوت بحافة الالم وأي ضغط أعلى منه يسبب تلفاً داخلياً للأذن ولا يمكن تحسسه كصوت

الموجات تحت السمعية **الصوت المسموع للاذن البشرية** الموجات فوق السمعية

حافة السمع	حافة الالم
التردد : 20 Hz	2O KHz
الضغط الصوتي: $2x10^{-5}$ N/m^2	20 N/m^2
التغير بالضغط: (10^{-6}) من الضغط الجوي	(10^{-3}) من الضغط الجوي

2) وسط مادي :

إن الموجات الصوتية هي من أبرز الأمثلة على الموجات الميكانيكية وتمتاز بأنها تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها وقد يكون هذا الوسط صلباً أو سائلاً أو غازياً أي إن وجود الوسط المادي بين مصدر الصوت وأذن الشخص ضرورياً لسماع الصوت ، وبتعبير آخر إن الصوت لا ينتقل في الفراغ . إن انتقال الحركة الميكانيكية في أي وسط مادي تتطلب امتلاك الوسط لخاصيتين أساسيتين هما :-

أ) المرونة :

إن المرونة هي قابلية الوسط على استعادة شكله أو حجمه أو وضعه وإن يقاوم أي تشوه عند زوال القوة المؤثرة عليه . وتخضع المواد المرنة إلى قانون هوك الذي ينص على إن : (مقدار التشوه أو الاستطالة يتناسب طرديا مع القوة المؤثرة ضمن حدود المرونة) وإذا ما تجاوزت المسافات الفاصلة بين الجزئيات حدود المرونة (عندما تكون القوة المؤثرة كبيرة) فأن الجزئيات لا تعود إلى وضعها الطبيعي بعد زوال القوة ويفقد الوسط مرونته ولا يستعيد وضعه الأصلي . ويمكن التعبير عن قانون هوك بدلالة الإجهاد والمطاوعة (الانفعال) **حيث يعرف الإجهاد Stress** : بأنه القوة المسلطة على وحدة المساحات من السطح المعرض لتلك القوة , أي ان:

الإجهاد = القوة \ المساحة

وتعرف المطاوعة Strain : بأنها النسبة بين مقدار التشوه في الجسم الذي تسببه القوة المؤثرة مقسوم على بعدهُ الأصلي قبل التشوه .

المطاوعة = مقدار التشوه/ البعد الاصلي

والمقصود بمقدار التشوه هو مقدار التغير في الطول أو الحجم أو الشكل . إن علاقة الإجهاد بالمطاوعة ضمن حدود المرونة هي :

الإجهاد α المطاوعة

الإجهاد = ثابت × المطاوعة

الثابت = يمثل معامل المرونة ، إي إن :

معامل المرونة = الاجهاد / المطاوعة

ب) القصور الذاتي (الاستمرارية)

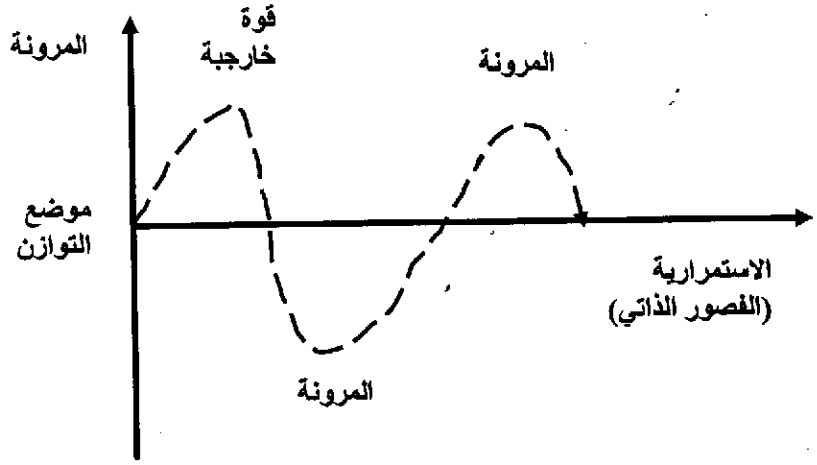
خاصية القصور الذاتي تمثل صفة استمرارية الجسم أو الوسط المادي على البقاء في حالته الحركية ما لم تؤثر عليه قوة خارجية فتغير من حالته الحركية . وإن قانون نيوتن الأول (قانون الاستمرارية) (والذي ينص على إن :الجسم يستمر على حالته الحركية من حركة أو سكون ما لم تؤثر عليه قوة خارجية فتغير حالته الحركية) هو الذي يصف هذه الحالة .

حيث إن الجسم يوصف بدلالة كمية مادته (أي كتلته) ، وإن كتلة الجسم تحدد مقدار مقاومته على تغير حالته الحركية وبذلك فأن خاصية الكتلة تمثل القصور الذاتي (إي أن الكتلة هي المقياس الكمي للقصور الذاتي) . ويعبر عادةً عن خاصية الاستمرارية أو القصور الذاتي لأي جسم من خلال كتلة وحدة الحجوم (أي الكثافة الكتلية) ، وبذلك فأن القصور الذاتي لأي وسط مادي يتناسب طردياً مع كثافته . وإن استجابة الوسط للقوة الخارجية المؤثرة عليه لتغيير حالته الحركية تتناسب عكسياً مع كثافة الوسط (أو القصور الذاتي للوسط) .

انتقال الحركة الموجبة الميكانيكية

تصنف الموجات الصوتية ضمن الموجات الميكانيكية والتي تحتاج عند انتقالها إلى وسط مادي يمتلك خاصيتي المرونة والقصور الذاتي . إن نشوء هذه الموجات ينتج عن أزاحه موضعية لمجموعة من جسيمات الوسط عن مواضع توازنها بسبب تأثير قوة خارجية ونتيجة لذلك يظهر دور خاصية المرونة والتي تسبب ظهور قوة تعمل على

أعادة الجسيمات المزاحة إلى مواضع توازنها الأصلية ، وعندما تبدأ هذه الجسيمات بالعودة إلى مواضع توازنها تكتسب سرعة وهنا يبرز دور خاصية الاستمرارية (أو القصورالذاتي) التي تعمل على استمرار الجسيمات بالحركة وعبور مواضع توازنها إلى الجهة المعاكسة لاتجاه الإزاحة الأولى ، وطالما تتجاوز هذه الجسيمات مواضع توازنها يظهر دور خاصية المرونة من جديد وهكذا تتكرر العملية فتحدث حركة اهتزازية حول موضع التوازن تكون مصدر اضطراب في الوسط وينتقل هذا الاضطراب من منطقة إلى أخرى في الوسط وإن الإزاحة تنتقل إلى الجسيمات المجاورة وهذه بدورها تنقلها إلى الجسيمات التي تليها وهكذا .



وبذلك فأن الجسيمات في مختلف أجزاء الوسط تتحرك بحركات اهتزازية صغيرة في مسارات محددة حول مواضع توازنها بأطوار مختلفة .

إن سرعة انتقال الاضطراب الميكانيكي في وسط مادي مرن تعتمد على معامل مرونته وكثافته ، لأن للكثافة علاقة بالقصور الذاتي .

شدة الصوت :

تعرف شدة الصوت : بأنها المعدل الزمني لتدفق الطاقة الصوتية خلال وحدة المساحة .

أو تعرف : بأنها القدرة لوحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشار الموجه . إن أدنى شدة صوت تستطيع الأذن البشرية سماعها $(10^{-12})Watt/m^2$ واط / م^2 وإن أقصى شدة صوت فهي $Watt/m^2$ (1) واط / م^2 .

وإن استجابة الأذن البشرية لشدة الصوت المسموع تكون بشكل علاقة لوغارتمية وليست خطية .

شدة الصوت (I) = القدرة/المساحة (من التعريف)

منسوب شدة الصوت (B) يساوي $B=\log(I/I_o)$

حيث إن :

I : شدة الصوت المسموع

I_o: شدة الصوت المرجعية وتكون عادةً أدنى شدة صوت , وتساوي

$I_o = 10^{-12}\ Watt/m^2 = 10^{-16} Watt/cm^2$

منسوب شدة الصوت ويقاس بوحدات الـ (بيل bel) ويفضل استخدام وحدة أصغر تسمى الـ (ديسبيل decibel) والتي تساوي (1/10)bel بيل

1 bel=10 decibel ⟶ decibel=(1/10)bel

$B=\log(I/I_o)$ (in bel)

(bel بيل) : نسبة إلى مخترع التلفون السكاندر غراهام بيل

$B=10\log(I/I_o)$ (in decibel)

$B=10\log(I/10^{-12})$

من المعادلة الأخيرة يتضح إن منسوب شدة الصوت :

1) عند حافة السمع $I=10^{-12}\ Watt/m^2$ ⟵ B=0 decibel

2) عند حافة الألم $I=1\ Watt/m^2$ ⟵ B=120 decibel

إن معظم أجهزة القياس تعطي القياس المباشر للضغط الصوتي وليس شدة الصوت .

وبما إن شدة الصوت تتناسب طردياً مع مربع الضغط الصوتي لذلك يمكن القول :

$I \alpha P^2 \longrightarrow B=10\log(P/P_o)^2$

P: الضغط الصوتي المقاس

P_o : الضغط الصوتي المرجعي ويكون عادةً أقل ضغط صوتي مسموع (أي عند حافة السمع)

$P_o=2x10^{-5}\ N/m^2$ (بوحدات باسكال)

$B=20\log(P/P_o)$ (بوحدات ديسيبيل)

$B=20\log(P/2x10^{-5}N/m^2)$ (بوحدات ديسيبيل)