وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة بغداد

كلية التربية للعلوم الصرفة–ابن الهيثم

قسم الفيزياء /المرحلة الثانية

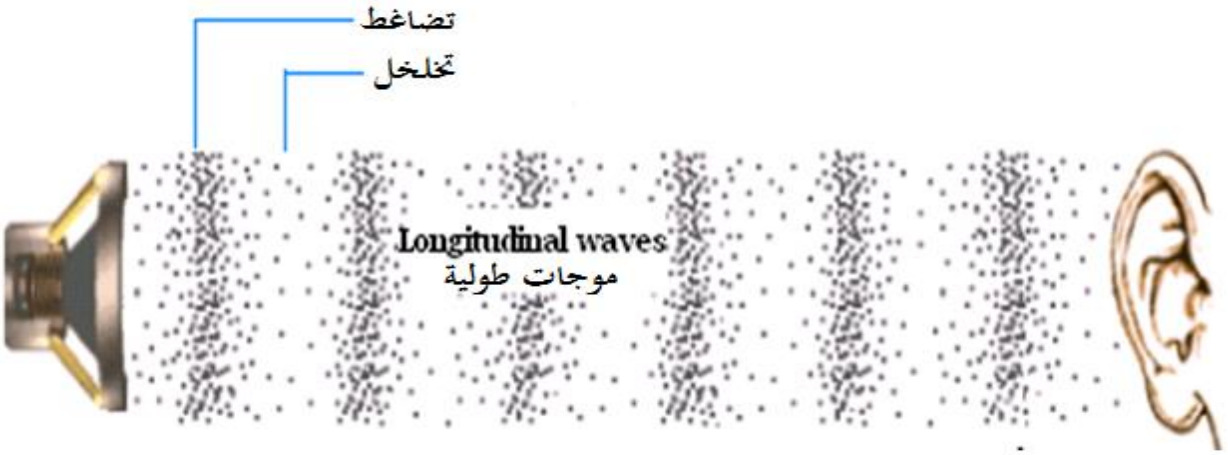
محاضرات في مادة

الصوت و الحركة الموجية

إعداد

أ.م.د. عماد هادي خليل

العام الدراسي (2023–2024)



الفصل الأول

الصوت: المنشأ و الانتقال

1.1 الصوت

2.1 علم الصوت

3.1 المعنى السيكولوجي للصوت

4.1 المعنى الفيزياوي للصوت

5.1 شروط حدوث الصوت وانتقاله

يتضمن هذا الفصل مقدمة عامة تتعلق بتعريف الصوت والعلم الذي يهتم بدراسته (علم الصوت)، والمعنى السيكولوجي والمعنى الفيزياوي للصوت. وثم نتطرق لكيفية حدوث الصوت (نشأته) والشروط التي يجب ان يمتلكها وسط معين لينتشر الصوت من خلاله.

1.1 الصوت (Sound):

هو اي اضطراب تضاغطي ينتقل في المادة (سائل، صلب، غاز) بحيث يسبب حركة طبلة الاذن والذي بدوره يؤدي الى الاحساس بالسمع.

2.1 علم الصوت (Acoustics):

هو العلم الذي يعنى بدراسة الصوت (sound) من حيث نشأته (تولده) (generation)، انتقاله (transmission)، استقباله (reception)، وتأثيراته (effects).

3.1 المعنى السيكولوجي للصوت:

يقصد بالسيكولوجي (Psychology) علم النفس والذي يعنى بدراسة سلوك الانسان والعوامل المؤثرة عليه، وبالتالي يكون المقصود بالمعنى السيكولوجي للصوت هو الاثر النفسي الذي يسببه الصوت في سلوك الفرد، وهذا المجال هو خارج اختصاص دراستنا.

4.1 المعنى الفيزياوي للصوت:

يقصد به دراسة الخواص الفيزيائية للموجات الصوتية من حيث كيفية تولدها من جسم مهتز وانتقالها عبر المادة والتأثيرات التي ترافق انتقالها. وهذا هو مجال دراستنا الحالية.

بالإضافة لما ذكر، هناك فرع آخر من المعرفة يهتم بدراسة الصوت من ناحية فسيولوجية (Physiology) (يقصد بالفسيولوجي علم وظائف الاعضاء) والذي يهتم بدراسة تركيب الجهاز السمعي للإنسان (والذي يتكون من الاذن الخارجية، الاذن الوسطى، الاذن الداخلية، العصب السمعي، و المركز السمعي في الدماغ) وكيفية قيامها بعملية بالتحسس بالصوت.

5.1 شروط حدوث الصوت و انتشاره:

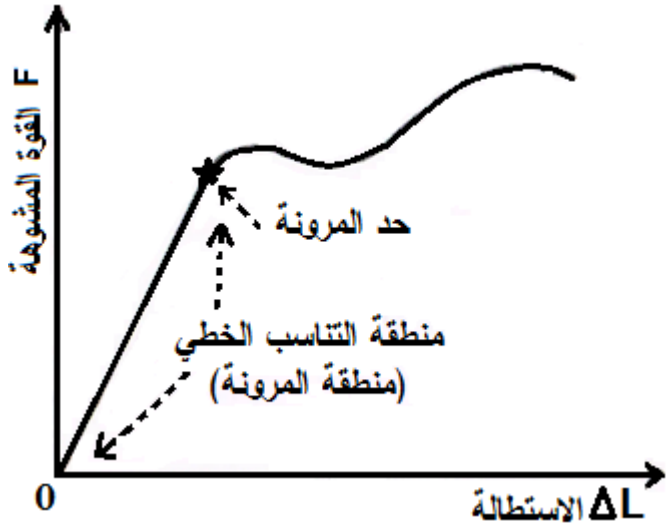
هناك شرطان اساسيان لحدوث الصوت وانتشاره هما:

1- وجود جسم مهتز بحيث يصدر موجات تضاغطية (مثل وتر مهتز).
2- وجود وسط مادي لنقل الصوت، ويشترط في الوسط المادي ان تتوفر فيه خاصيتان وهما المرونة والقصور الذاتي. وفيما يلي شرح لهاتين الخاصيتين:

أولاً: خاصية المرونة (Elasticity):

هي قابلية الوسط على مقاومة اي تشوه فيه وقابليته على استعادة شكله او حجمه او وضعه بعد زوال القوة المشوهة المؤثرة عليه.

القانون الذي يصف سلوك المواد المرنة هو قانون هوك (Hooke's law) والذي ينص على ان اي قوة خارجية تسلط على جسم ما تحدث فيه تشوهاً يؤدي الى تغير في الشكل او الحجم او كليهما ومقدار ذلك التشوه يتناسب خطياً مع قيمة القوة المشوهة ($\Delta L \propto F$) ضمن حدود المرونة (Elastic limit).



الشكل المجاور يمثل منحنى العلاقة بين قيمة القوة المشوهة المسلطة على سلك وقيمة الاستطالة الحاصلة في طول السلك نتيجة لتأثير القوة المشوهة. حيث يلاحظ ان قيمة الاستطالة تتزايد بشكل خطي مع زيادة القوة المشوهة (علاقة خطية)، ويستمر ذلك السلوك لقيمة حدية معينة للقوة المشوهة (حد المرونة) وبعدها تفقد المادة خاصية المرونة لا يمكنها العودة الى وضعها الاصلي بعد زوال المؤثر.

يمكن التعبير عن قانون هوك بطريقة ثانية بدلالة الاجهاد والانفعال وكما يلي:

الاجهاد (Stress):

هو القوة المطبقة على وحدة المساحة من السطح الذي تطبق عليه القوة، أي ان:

$$\text{Stress} = \frac{F}{A}$$

وحدة الإجهاد في النظام العالمي للوحدات هي (N/m^2) ويطلق عليها باسكال $(Pa = N/m^2)$.

الانفعال (المطاوعة) (Strain):

هو النسبة بين مقدار التشوه في الجسم الذي تسببه القوة المشوهة الى بعده الاصلي قبل التشوه. اي ان:

$$\text{Strain} = \frac{\text{مقدار التشوه}}{\text{البعد الاصلي}}$$

حسب قانون هوك فان الانفعال الذي تعاني منه المادة يتناسب خطياً مع الاجهاد الذي تتعرض له المادة جراء تسليط القوة المشوهة ضمن حدود المرونة، اي ان (الاجهاد α الانفعال).

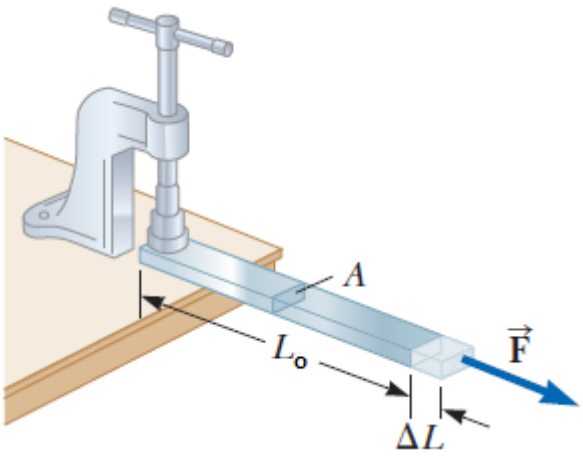
يسمى ثابت التناسب بمعامل المرونة (Modulus of Elasticity) ويرمز له بالرمز (E) اي ان:

$$\mathrm{E} = \frac{\text{Stress}}{\text{Strian}}$$

وحيث ان الانفعال ليس له وحدات، لذا تكون وحدات معامل المرونة (E) هي نفسها وحدات الإجهاد (اي ان وحدات معامل المرونة هي الباسكال).

هناك ثلاث انواع مختلفة من معاملات المرونة وذلك بالاعتماد على طبيعة المادة والشكل الهندسي ونوع التشوه الذي تحدثه القوة المسلطة على المادة. وهذه الانواع الثلاثة هي كالتالي:

1-معامل المرونة الطولي (الخطي) و يسمى معامل يونك (Young's Modulus)



يستعمل هذا المعامل عند وصف استطالة سلك او قضيب تحت تأثير قوة شد معينة (F) كما هو موضح بالشكل المجاور.

حيث يمثل معامل يونك النسبة بين الاجهاد الطولي (Tensile stress) الى الانفعال الطولي (Tensile strain)، ويعطى بالصيغة:

$$\mathrm{Y} = \frac{\text{Tensile Stress}}{\text{Tensile Strian}}$$

ان الإجهاد الطولي يمثل النسبة بين قيمة القوة العمودية $(\mathrm{F_n})$ الى مساحة المقطع العرضي (A) ، بينما يمثل الانفعال الطولي النسبة بين التغير في الطول $(\Delta \mathrm{L})$ الى الطول الاصلي $(\mathrm{L_o})$، اي ان:

$$\text{Tensile Stress} = \frac{F_n}{A}$$

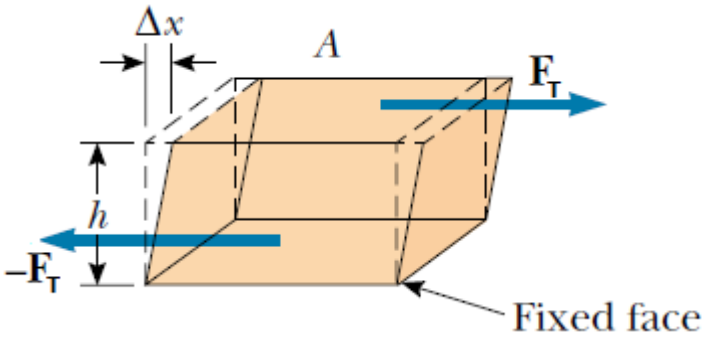
$$\text{Tensile Strian} = \frac{\Delta L}{L_o}$$

بالنتيجة يمكن كتابة الصيغة النهائية لمعامل يونك بالصيغة:

$$Y = \frac{\left(\frac{F_n}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)}$$

2-معامل القص (Shear Modulus)

يحدث هذا النوع من التشوه عندما تؤثر قوة مماسية على احد وجوه جسم صلب بينما يكون الوجه المقابل مثبت بواسطة قوة ثانية كما هو موضح بالشكل المجاور.



يعرف معامل القص (Shear Modulus) (ويسمى ايضاً معامل الصلادة) بانه النسبة بين اجهاد القص الى انفعال القص الناتج عن التشوه في الشكل الهندسي للجسم الصلب دون ان يصاحبه تغير في الحجم. حيث يمثل إجهاد القص (Shear stress) النسبة بين قيمة القوة المماسية (F_T) إلى مساحة الوجه المعرض للقص (A)، اما انفعال القص (Shear strain) فهو النسبة بين الإزاحة الأفقية (Δx) التي تسببها القوة المماسية للوجه المتحرك إلى ارتفاع الجسم (h) (المسافة العمودية بين الوجه المتحرك والثابت).

يعرف معامل القص بالصيغة:

$$\text{Shear modulus (S)} = \frac{\text{Shear Stress}}{\text{Shear Strian}}$$

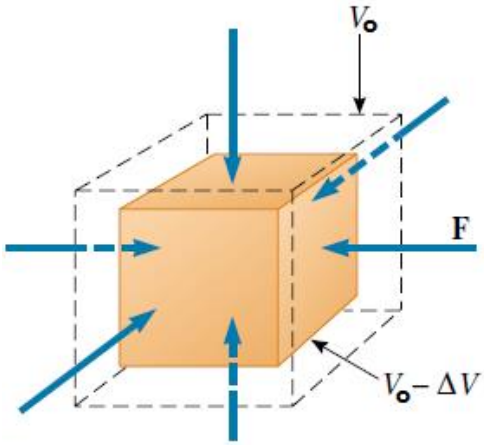
وحيث ان:

$$\text{Tensile Stress} = \frac{F_T}{A} \quad , \quad \text{Tensile Strian} = \frac{\Delta x}{h}$$

وبالتالي يعطى معامل القص بالصيغة:

$$S = \frac{\left(\frac{F_T}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta x}{h}\right)}$$

3-معامل المرونة الحجمي (Bulk Modulus)



يتعلق معامل المرونة الحجمي بتعرض جسم ما الى زيادة (او نقصان) في الضغط المنتظم المسلط عليه، بحيث تؤثر القوة الخارجية بشكل منتظم ومتساوي على جميع جوانب الجسم، مما يتسبب في تغير في الحجم (بالزيادة او النقصان) دون ان يصاحب ذلك تغير في شكل الجسم، وكما هو موضح بالشكل المجاور.

يعرف معامل المرونة الحجمي بانه النسبة بين الاجهاد الحجمي الى الانفعال الحجمي ويرمز له بالرمز B، ويعرف رياضياً بالصيغة:

$$\text{Bulk Modulus (B)} = -\frac{\left(\frac{\Delta F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta V}{V_o}\right)}$$

حيث ان الكمية $(\Delta F/A)$ تمثل التغير الضغط (يعرف الضغط بانه القوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة) لذا يمكن كتابة الصيغة النهائية لمعامل المرونة الحجمي بالصورة:

$$B = -\frac{\Delta P}{\left(\frac{\Delta V}{V_o}\right)}$$

ان إشارة السالب وضعت للدلالة على ان معامل المرونة الحجمي هي كمية موجبة، فكما هو معروف ان هناك علاقة عكسية بين حجم الجسم والضغط المسلط عليه، فمثلاً عند زيادة الضغط (ΔP موجبة) فان ذلك يؤدي الى نقصان في الحجم (ΔV سالبة) والعكس بالعكس، وبالتالي تعمل اشارة السالب على جعل قيمة معامل المرونة موجبة دائماً. يمكن كتابة معامل المرونة الحجمي بالصيغة التفاضلية بالشكل التالي:

$$B = -V_o \frac{dP}{dV}$$

ان مقلوب معامل المرونة الحجمي يسمى **بالانضغاطية** (Compressibility) وهو مقياس لقابلية المادة للانضغاط ويرمز له بالرمز (K) (كما يرمز للانضغاطية احياناً بالرمز $\boldsymbol{\beta}$)، حيث تكون انضغاطية المواد السائلة عموماً اكبر من انضغاطية المواد الصلبة، وتعرف الانضغاطية رياضياً بالصيغة:

$$K = \frac{1}{B}$$

الجدول التالي يوضح القيم النموذجية لمعاملات المرونة لمجموعة من المواد:

Substance	Young's Modulus (N/m^2)	Shear Modulus (N/m^2)	Bulk Modulus (N/m^2)
Tungsten تنكستن	35×10^{10}	14×10^{10}	20×10^{10}
Steel فولاذ	20×10^{10}	8.4×10^{10}	6×10^{10}
Copper نحاس	11×10^{10}	4.2×10^{10}	14×10^{10}
Brass نحاس اصفر	9.1×10^{10}	3.5×10^{10}	6.1×10^{10}
Aluminum المنيوم	7.0×10^{10}	2.5×10^{10}	7.0×10^{10}
Glass زجاج	$6.5–7.8 \times 10^{10}$	$2.6–3.2 \times 10^{10}$	$5.0–5.5 \times 10^{10}$
Quartz كوارتز	5.6×10^{10}	2.6×10^{10}	2.7×10^{10}
Water ماء	—	—	0.21×10^{10}
Mercury زئبق	—	—	2.8×10^{10}

نسبة بواسون (σ) Poisson's Ratio

هي النسبة بين الانفعال العرضي الى الانفعال الطولي ضمن حدود المرونة، ويرمز لها بالرمز (σ)، فاذا كان لدينا وتر اسطواني منتظم من المطاط مثلاً طوله (L_o) وقطره (D_o) فعند تسليط قوة شد عليه فان طوله يزداد بمقدار (ΔL) وقطره ينقص بمقدار (ΔD) وعندها فان نسبة بواسون تعطى بالصيغة:

$$\sigma = -\frac{\left(\frac{\Delta D}{D_o}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)}$$

وضعت الاشارة السالبة في العلاقة لان زيادة الطول يرافقها عادة نقصان في السمك (العرض)، لذا تكون نسبة بواسون لمعظم المواد ذات قيمة موجبة وتتراوح قيم نسبة بواسون عادة بين (0.2) للزجاج الى (0.5) للمطاط.

ان معاملات المرونة الثلاث: معامل المرونة الطولي (معامل يونك) (Y)، معامل القص (S) و معامل المرونة الحجمي (B) ونسبة بواسون (σ) ترتبط مع بعضها وفق العلاقات:

$$Y = 2S(1 + \sigma)$$

$$B = \frac{Y}{3(1 - 2\sigma)}$$

ثانياً: خاصية القصور الذاتي

ان خاصية القصور الذاتي تمثل صفة استمرارية الجسم او اجزاء الوسط المادي 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 والذي يسمى قانون الاستمرارية (الجسم الساكن او المتحرك بحركة منتظمة يبقى محافظاً على حالته الحركية ما لم تؤثر عليه قوة خارجية).

ترتبط خاصية القصور الذاتي لجسم ما بمقدار كتلة الجسم (مقدار ما يحتويه الجسم من مادة)، فكلما كانت كتلة الجسم اكبر كلما كانت مقاومته لتغيير حالته الحركية اكبر. وغالباً ما يعبر عن خاصية الاستمرارية او القصور الذاتي لأي جسم من خلال كتلة وحدة الحجوم اي الكثافة. وعليه فان القصور الذاتي لأي وسط مادي يزداد بازدياد كثافته. اي ان كثافة الوسط تحدد أثر القوة المؤثرة فيه. فكلما ازدادت كثافة الوسط قلت استجابته لتأثير القوة الخارجية فيه لتغيير حالته الحركية.

أسئلة الفصل الأول

س1: عرف كل من:

1- علم الصوت 2- قانون هوك 3- معامل يونك 4- معامل القص
5- معامل المرونة الحجمي 6- الانضغاطية 7- نسبة بواسون 8- القصور الذاتي

س2: وضح المقصود بالمعنى السيكولوجي والمعنى الفيزياوي للصوت؟

س3: عرف الصوت ثم اذكر شروط حدوثه وانتشاره.

س4: اكتب الصيغ النهائية للكميات التالية مع تعريف الرموز الواردة فيها:
1 -معامل يونك 2- معامل القص 3- معامل المرونة الحجمي 4 – نسبة بواسون

س5: بالاستفادة من معادلة الحالة للغاز المثالي $(PV = nRT)$ اثبت ان معامل المرونة الحجمي لغاز مثالي في حالة ثبوت درجة الحرارة يساوي ضغط الغاز $(\mathbf{B} = P)$.

س6 عُلق ثقل كتلته $(180kg)$ في طرف سلك طوله $(3m)$ ومساحة مقطعه العرضي $(0.5 \times 10^{-4}m^2)$ ومعامل يونك لمادة السلك $(7 \times 10^{10}\ N/m^2)$. ما مقدار استطالة السلك تحت تأثير ذلك الثقل.

س7: مكعب من الجلاتين أبعاده $(5 \times 5 \times 5\ cm)$ سلطت على سطحه العلوي قوة مماسية مقدارها $(12N)$ فإزاحته مسافة $(3mm)$ في اتجاه القوة، احسب معامل القص للجلاتين.

س8: ما مقدار الزيادة في الضغط اللازم تسليطه لكي ينكمش حجم من الماء بمقدار (2.5%)، اذا علمت ان معامل المرونة الحجمي للماء هو $(0.21 \times 10^{10}\ N/m^2)$.