الجامعة	**الانبار**
الكلية	**العلوم**
القسم	**الفيزياء**
المرحلة	**الثانية**
اسم المادة باللغة العربية	**الصوت والحركة الموجية**
اسم المادة باللغة الانكليزية	**Sound and Wave motion**
اسم التدريسي	**م.م. صباح سلطان فرحان**
عنوان المحاضرة باللغة العربية	**انتشار الامواج الميكانيكية في الاوساط المختلفة**
عنوان المحاضرة باللغة الإنكليزية	**The propagating power of sound waves**
رقم المحاضرة	**4**

انتشار الامواج الميكانيكية في الاوساط المختلفة

تنتشر الأمواج الميكانيكية في *الأوساط الصلبة* ،كالأوتار والمعادن، *وغير الصلبة*، كالسوائل والغازات .وتعتمد سرعة انتشارها على *خواص الوسط ومرونته*.

التردد والعوامل المؤثرة عليه

ان الاجسام المختلفة تهتز بترددات مختلفة وهذا ناتج كون ان التردد يعتمد على عدة عوامل, ولكن اهم العوامل التي تؤثر على التردد هي *الكتلة والصلابة او (العناد) stiffness*( ) , ان تأثير هذين العاملين على التردد يمكن توضيحهما بمنظومة مكونة من نابضين مهتزين مربوط بهما جسمين.

عندما يكون الجسمين متساويين بالكتلة والنابضين مختلفين بالصلابة فان النابض ذات الصلابة الاكبر سوف يهتز بتردد اكبر اي ان التردد يتناسب طرديا مع صلابة النابض.

ولكن عندما يكون النابضين متماثلين بالصلابة والجسمين مختلفين بالكتلة, فان الجسم ذات الكتلة الكبيرة سوف يهتز بتردد اقل اي ان التردد يتناسب عكسيا مع الكتلة, وسبب ذلك ان الجسم الاكبر كتلة اي ان قصوره اكبر اي انه يعرض معاكسة اكبر لتغيير حالته الحركية.

ان توليد الموجات الصوتية يتطلب بالإضافة الى مصدر للاهتزاز, يجب ان يكون هناك وسط مرن لانتقال الموجة , ويقصد بالوسط المرن هو ذلك الوسط الذي اذا اثر عليه بقوة (مؤثر خارجي) فانه قادر على استرجاع شكله الأصلي بعد زوال المؤثر.

لأجل فهم انتشار الامواج الصوتية في الهواء, يمكن تصور ان الهواء مؤلف من تجمع كبير من الجسيمات المرتبطة بعضها مع بعض بقوة تشبه النابض, وهذا النابض يمثل قوة الارجاع والتي تزود الهواء بخاصية المرونة.

ان ضغط الهواء مرتبط بكثافته, عندما يكون الحجم ثابت وغير متأثر بالتشوه الحاصل, فان الجسيمات المنفردة للهواء تضطرب فيما بينها زيادة او نقصان بالتساوي.

مفهوم المرونة وقانون هوك

المرونة : بخاصيّة فيزيائية للمواد تتمثل في رجوعها الى شكلها الأصلي بعدان تكون قد تشوهت(تغير شكلها أو حجمها أو طولها.)

يتصف الجسم المرن بما يأتي:

1.يعود إلى شكلها وحجمها وطولها السابق بعد زوال القّوة المؤثرة فيه.

2.يتناسب التشوّه الحاصل فيه خطياً مع القوة المسببة له ضمن حدود المرونة.

حد المرونة:

هو الحد الذي إذا اجتازته القوة المؤثرة لا يعود الجسم إلى ما كان عليه بعد زوال تلك القوة، لذا يقال

عنه ان الجسم حدث فيه تشوّه دائم.

•الزيادة الحاصلة فيطول النابض تتناسب تناسباً طردياً مع قوة الشد ضمن حدود المرونة وهذا ما

يعرف بقانون هوك.

قوة الشد = ثابت مرونة النابض x مقدار الاستطالة.

معامل المرونة :هو النسبة بين الإجهاد والمطاوعة، وتدعى هذه النسبة أحيانا معامل يونك(Y)

يعرّف الإجهاد : بأنه مقدار القوة العمودية المؤثرة على وحدة المساحة من الجسم (F/A0) .

المطاوعة :مقياس لمقدار التشوّه الذي يحدث للمادة (تغير في الشكل أو الحجم) نتيجة الإجهاد الذي تعرضت له($\Delta L/L_0$) .

$$Y = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0 \Delta L}$$

حيث F : مقدار القوة العمودية المؤثرة على السلك.

A_o: مساحة مقطع السلك.

L_o : طول السلك الأصلي (الابتدائي).

ΔL: مقدار التغير في الطول بعد تأثير القوة.

سرعة انتشار الامواج الميكانيكية

تنتشر الأمواج الميكانيكية في الأوساط الصلبة، كالأوتار والمعادن، وغير الصلبة، كالسوائل والغازات. وتعتمد سرعة انتشارها على خواص الوسط ومرونته. وسنحدد في هذه الفقرة سرعة انتشار الأمواج في الأوساط الصلبة كالحبال والسائلة أو الغازية.

1- سرعة انتشار الأمواج في حبل مشدود:

تنتشر في حبل مشدود بشكل أفضل بكثير من آخر غير مشدود وفي حبل حفيف بالمقارنة مع آخر ثقيل. ولتحديد سرعة الانتشار نختار عنصرا Δl من حبل مشدود من طرفيه بقوة F بينما تنتشر فيه الموجة بسرعة v، كما في الشكل (1)، فنلاحظ أن محصلة الشد عليه تتجه نحو مركز التقوس وقيمتها:

$$2Fsin\theta \approx 2F\theta \approx 2F\left(\frac{\nabla l}{2r}\right) \approx \frac{F\nabla l}{r}$$

ونظرا لأنها مركزية فهي تساوي mv^2/r، أي أن:

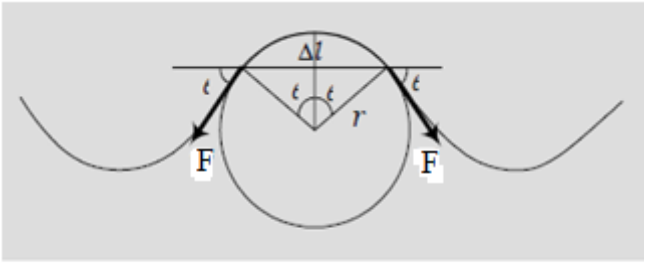
$$\frac{F\nabla l}{r} = \frac{mv^2}{r} = \frac{\rho\nabla l v^2}{r}$$

حيث وضعنا طول العنصر المعتبر $m=\rho\Delta l$ باعتبار ρ الكثافة الطولية للكتلة. ولذلك يكون:

$$\frac{F\nabla l}{r} = \frac{\rho\nabla l v^2}{r}$$

$$1v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

فسرعة الانتشار تتناسب طردا مع الشد في الحبل وعكسا مع كثافته الكتلية. وواضح من وحدات العلاقة السابقة أنها تمثل سرعة



الشكل (1)

مثال -1

يهتز حبل طوله 0.5 م ومشدود بقوة 10 نيوتن بسعة عظمى 1 سم وبمعدل 200 مرة بالثانية. ما سرعة انتشار الموجة فيه اذا كانت كتلته 50 غم, وما طول الموجة و كيف يتغير لو ضاعفنا الشد؟

$$\rho = m/l = 50\times10^{-3}\ \text{kg}/0.5\,\text{m} = 0.1\ \ \text{kg/m}$$

فنجد سرعة انتشار الموجة:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho}} = \sqrt{\frac{10}{0.1}} = 10\ m/s$$

$$v = f\lambda \ \rightarrow\ \lambda = v/f$$

$$\lambda = \frac{10}{200} = 0.05\ m$$

وإذا تضاعف الشد تتغير سرعة الانتشار إلى:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho}} = \sqrt{\frac{20}{0.1}} = 14.1\ m/s$$

فزيادة الشد تغير سرعة الانتشار إلا أنها لاتؤثرعلى زمن الدورة او التردد لأنها عوامل خارجية ناتجة عن مصدر الاهتزازات. وهذه نتيجة مهمة لفهم طبيعة الموجة ومانسمعه ونسميه صوتا أو نراه ونسميه لونا.

مثال -2

سلك كتلته (2 gm) وطوله (60 cm) , ما الشد اللازم للسلك لكي تكون سرعة الموجة عليه (300 m/sec) ؟

الحل:

$$m = 2gm = 2\times10^{-3}\ kg$$

$$L = 60\ cm = 60\times10^{-2}\ m$$

$$v = 300\ \ m/sec$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

$$\rho = m/L$$

$$(300\ m/sec) = \sqrt{\frac{\mathrm{F}}{\left(\frac{2\times10^{-3}\ kg}{60\times10^{-2}\ m}\right)}}$$

$$(300)^2 = \frac{\mathrm{F}}{3.33 \times 10^{-3}}$$

$$\mathrm{F} = (300)^2(3.33 \times 10^{-3}) = 300\ N$$

مثال -3

قام شخصين بمسك حبل كتلته 1.0 كغم طوله 10 م من نهايتيه. قام احد الاشخاص بهز الحبل الى الاعلى. احسبي الزمن اللازم لكي يشعر الشخص الاخر بهذه الهزة اذا كان الشد في الحبل:

40.0 نت (2) 10.0 نت.

الحل

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho}}$$

$$\rho = \frac{M}{L} = \frac{1}{10} = 0.1\ kg/m$$

T= 40.0 N

$$v = \sqrt{\frac{40}{0.1}} = 20.0\frac{m}{sec}.$$

$$\Delta t = \frac{x}{v} = \frac{10.0\ \mathrm{m}}{20.0\ \mathrm{m/s}}$$

$$= 0.500\ \mathrm{s}$$

F= 10.0 N

$$v = \sqrt{\frac{10}{0.1}} = 10.0\frac{m}{sec}.$$

$$\Delta t = \frac{x}{v} = \frac{10.0\ \mathrm{m}}{10.0\ \mathrm{m/s}} = 1.00\ \mathrm{s}$$

2- سرعة انتشار الأمواج الصوتية في المواد الصلبة والسائلة والغازية:

وجدنا في الفقرة السابقة أن سرعة انتشار الأمواج في حبل مشدود يعتمد على الخواص الذاتية له من كتلة وطول وشد. وبنفس المنطق، فإن سرعة انتشار الأمواج الصوتية في المواد الصلبة والموائع والغازات تعتمد على الخواص المميزة للوسط من ضغط وحرارة وحجم وغيرها. وتعطى سرعة انتشار الموجات الصوتية في الأوساط المختلفة على النحو التالي :

أ- في حالة المواد الصلبة

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \qquad 2$$

حيث Y : معامل يونج وهو معامل المرونة الطولي ويقتصر على المواد الصلبة فقط.

ب- للموائع (للسوائل والغازات)

$$3v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

حيث B معامل المرونة الحجمي *(bulk modulus)* ، ρ كثافة المائع الحجمية.

ويعرف معامل الحجم (B) بأنه :

$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V/V}$$

حيث V : هي حجم الوسط.

ΔV : التغير في الحجم.

Δp: التغيير بالضغط.

وفي حال الغازات

$$v = \sqrt{\frac{\gamma . P}{\rho}} \qquad 4$$

حيث γ : الثابت الكظمي ويعرف بالعلاقة :

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

حيث C_P : السعة الحرارية عند ثبات الضغط.

C_V : السعة الحرارية عند ثبات الحجم.

للهواء قيمة $\gamma = 1.4$

لمزيج من الغازات احادية الذرة

For monoatomic gases (*e.g.* He, Ne, Ar), $\gamma = \frac{5}{3} = 1.667$;

لمزيج من الغازات اثنائية الذرة

for diatomic gases (*e.g.* N_2, O_2, H_2, CO) $\gamma = \frac{7}{5} = 1.4$.

وبما ان

$$PV = RT \text{ and } \rho = \frac{M}{V}.$$

وعليه

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma . P}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma . RT}{M}} \qquad 5$$

حيث:

T: درجة حرارة الغاز بالكلفن (K).

M: الكتلة المولية للغاز (kgm/mol).

R: ثابت الغازات العام ويساوي (8.31 J/K.mol)

ونلاحظ من العلاقات السابقةأن سرعة انتشار الصوت في ألوسط تعتمدعلى خواصه فقط.

ونعطي في الجدول– 1 – سرع ةانتشارالصوت في ألوساط مختلفة.

المادة	السرعة (m/s)	المادة	السرعة (m/s)
الهواء (0 °)	331	الرصاص	1190
الهواء (20 °)	343	النحاس	3810
الهيدروجين	1330	الألمنيوم	5000
الماء المقطر	1486	الفولاذ	5170
ماء البحر	1519	زجاج بايركس	5200

مثال:
احسبي سرعة الصوت في الهواء في الظروف القياسية (درجة حرارة (0 C0), والضغط 1 bar) علما ان الكتلة المولية للهواء (28.8 g) , وللهواء ($\gamma = 1.4$) .

$$T\,(K) = T(C) + 273 = 0 + 273 = 273\,K$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma . RT}{M}}$$

$$v_{air} = \sqrt{\frac{1.4 \times 8.31 \times 273}{28.8 \times 10^{-3}}} = 332.09 \text{ m/s.}$$

مثال:
احسبي سرعة الصوت في الهليوم عند درجة حرارة (-110 C0) علما ان الكتلة المولية للهليوم (4 g) .

$$T\,(K) = T(C) + 273 = -110 + 273 = 163\,K$$

$$For\ He\ (\ \gamma = 1.667)$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma . RT}{M}}$$

$$v = \sqrt{\frac{1.667 \times 8.31 \times 163}{4 \times 10^{-3}}} = 751.33 \text{ m/s.}$$