7. 14. سرعة المجموعة

لقد اقتصرت دراستنا لحد الآن على التعامل مع الموجات الأحادية التردد (أي ذات الطول الموجي الثابت)، وقد وجدنا في البند السابق أن الموجة المنفردة تتحرك بسرعة ثابتة في الوسط الواحد (غير المشتت) مهما كان طولها الموجي ومقدار هذه السرعة يتوقف على الثوابت الفيزيائية لذلك الوسط، وهذه السرعة (سرعة الموجة) في هذه الحالة هي نفسها سرعة تقدم الطاقة التي تحملها الموجة.

أما في حالة التعامل مع عدد أو مجموعة من الموجات ذات الأطوال الموجية المختلفة التي تتحرك آنياً في وسط ما، وهذا ما هو شائع في معظم الحالات العملية، فإنه ينبغي التعامل مع السلوك الجماعي لجميع الموجات في آن واحد وعدم التعامل مع كل موجة على انفراد خاصة إذا كانت المجموعة تتحرك في وسط مشتت.

إن بحث سلوك مثل هذه المجموعة من الموجات يقودنا إلى النوع الثالث من السرع الذي سبق أن تطرقنا له في الفقرة (11-5) وهو سرعة المجموعة. وللسهولة فقط سنكتفي باعتبار مجموعة تتألف من موجتين تتحركان بنفس الاتجاه ولهما السعة نفسها a والفرق بين ترددیهما w_1 وw_2 مقدار صغير جداً ونفرض أن الموجتين هما:

$$\begin{aligned} y_1 &= a\sin\left(w_1 t - k_1 x\right) \\ y_2 &= a\sin\left(w_2 t - k_2 x\right) \end{aligned} \qquad \textbf{(7.20)}$$

وطبقاً لقاعدة التركيب، فإن التأثير المركب للموجتين يعطى بالمحصلة y حيث:

$$y = y_1 + y_2 = a\sin\left(wt - k_1 x\right) + a\sin\left(wt - k_2 x\right)$$

ومنها نحصل على:

$$y = 2a\sin\left[\left(\frac{w_1 + w_2}{2}\right)t - \left(\frac{k_1 + k_2}{2}\right)x\right]\cos\left[\left(\frac{w_1 - w_2}{2}\right)t - \left(\frac{k_1 - k_2}{2}\right)x\right] \qquad \textbf{(7.21)}$$

إن حد الجيب يمثل موجة ترددها $\left(\frac{w_1+w_2}{2}\right)$ وهو المتوسط الحسابي للترددين الأصليين w_1 وw_2 وعددها الموجي $\left(\frac{k_1+k_2}{2}\right)$ يمثل $\left(\frac{w_1+w_2}{k_1+k_2}\right)$

ولما افترضنا أن الفرق بين الترددين الزاويين w_1 وw_2 هو مقدار صغير وكذلك الفرق بين k_1 وk_2 أي أن:

$$w_1 - w_2 = dw$$
$$k_1 - k_2 = dk$$

لذلك فإن:

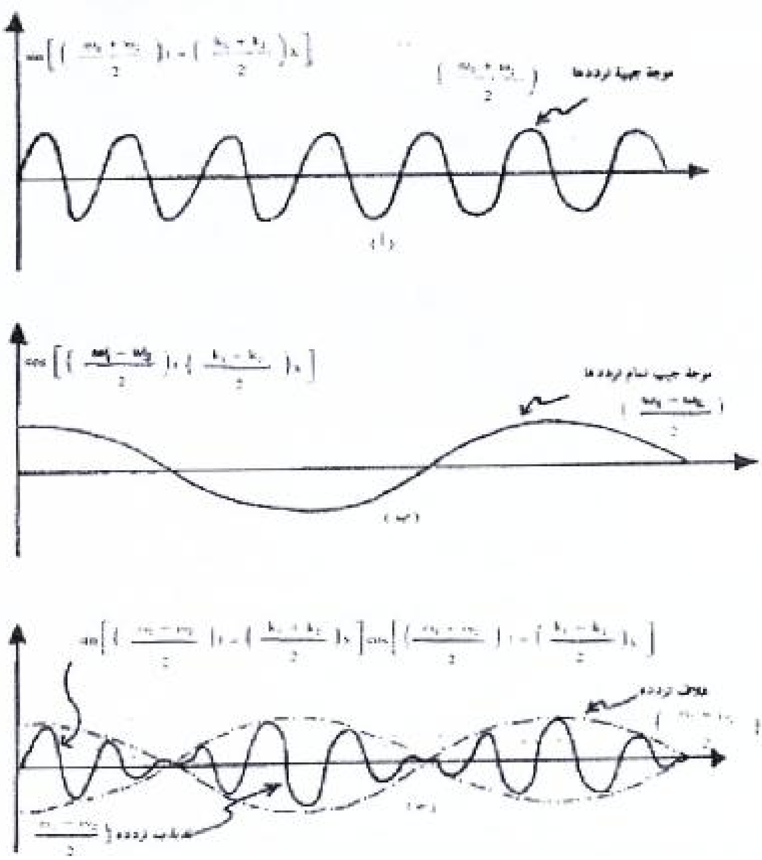
$$\left(\frac{w_1+w_2}{2}\right) = w_1 - \frac{dw}{2} = w_2 + \frac{dw}{2}$$
$$\left(\frac{k_1+k_2}{2}\right) = k_1 - \frac{dk}{2} = k_2 + \frac{dk}{2}$$

وهذا يشير إلى أن قيمة المتوسط الحسابي للترددين الأصليين يساوي إلى درجة عالية من الدقة قيمة أحد الترددين، وكذلك فإن قيمة المتوسط الحسابي للعددين الموجيين الأصليين يساوي إلى درجة عالية من الدقة قيمة أحد العددين الموجيين، وهذا يعني أن حد الجيب يمثل موجة جيبية طورها يماثل إلى حد كبير طوري الموجتين الأهليتين.

والشكل (7.4) يبين الموجة الجيبية التي يمثلها حد الجيب في المعادلة (7.21) وحد الجيب تمام فى المعادلة (7.21) يمثل موجة ترددها الزاوي $\frac{w_1-w_2}{2}$ وعددها الموجي $\frac{k_1-k_2}{2}$ وسرعة هذه الموجة هي $\frac{w_1-w_2}{k_1-k_2}$

إن هذا الحد يتغير مع كل من الزمن والمسافة ببطء أكثر مما هو في حد الجيب، والشكل (7.4) يبين الموجة التي يمثلها حد الجيب تمام.

إن الشكل (7.4) يبين المنحني البياني للتابع (7.21) عند ثبوت الزمن t.



الشكل (7.4)

الشكل (7.4) يبين مجموعة موجية مركبة من موجتين (أ) يمثل حد الجيب في المعادلة (7.21)، (ب) يمثل حد جيب التمام، (ج) يمثل الخط المتصل (وليس المتقطع) حاصل ضرب الحدين وهذا المنحني يمكن الحصول عليه بضرب الإحداثيات الرأسية للحدين الجيب (أ) والجيب تمام (ب) مع بعضهما نقطة بنقطة، فينتج المنحنى المستمر (ج) الذي يظهر واقعاً داخل الغلاف المنقط، والغلاف المنقط هو في الحقيقة منحني الجيب تمام (ب) وصورته في المحور السيني x.

ومما يجدر ملاحظته من تماثل الحدين في x وt في المعادلة (7.21) أن شكل المنحني البياني الناتج من رسم y مع t عند ثبوت x مشابه لما هو مبين في الشكل (7.4) الناتج من رسم y مع x عند ثبوت t.

إن تعاقب نمو السعة وهبوطها مع الزمن يؤدي إلى ظهور ظاهرة الضربات (الخفقان)، ومن الواضح أن التابع (7.21) الممثل بالمنحني البياني الشكل (7.4) يعني أن هناك تضمين لسعة الاهتزازات العالية التردد وذات الطول الموجي القصير بواسطة غلاف طوله الموجي طويل وتردده منخفض.

إن تركيب موجتين أو أكثر بهذا الأسلوب يعرف بمجموعة موجية، والآن لنرى كيف تسلك المجموعة الموجية في الأوساط المشتتة وغير المشتتة.

في الأوساط غير المشتتة (أي الأوساط المادية التي لا يتوقف فيها سرعة الموجة على الطول الموجي) تكون سرعة الموجة c ثابتة وتعطي بالعلاقة:

$$C = \frac{w_1}{k_1} = \frac{w_2}{k_2} = \frac{w_1 + w_2}{k_1 + k_2} = \frac{w_1 - w_2}{k_1 - k_2}$$

وهذا يعني أن الموجة الجيبية التي يمثلها الشكل (7.4) والموجة الجيب تمام التي يمثلها الشكل (7.4) لهما نفس السرعة الموجية تماماً.

وعلى هذا الأساس فإن الغلاف المنقط المنخفض التردد والمنحني المستمر العالي التردد الذي يقع داخل الغلاف في الشكل (7.4) يتحركان إلى اليمين مع مرور الزمن بنفس السرعة، وهذا يشير إلى أن أي إشارة مركبة من خليط من الموجات تتقدم في وسط غير مشتت بسرعة ثابتة دون أن يصاحبها تغير في الشكل.

أما في الأوساط المشتتة حيث السرعة الموجية تتغير مع الطول الموجي فإن:

$$\frac{w_1}{k_1} \neq \frac{w_2}{k_2}$$

ولذلك فإن:

$$\frac{w_1+w_2}{k_1+k_2} \neq \frac{w_1-w_2}{k_1-k_2}$$

وهذا يعني أن المنحني الداخلي المستمر في الشكل (7.4) لم يتقدم بسرعة $\frac{w_1+w_2}{k_1+k_2}$ تختلف عن سرعة الغلاف المنقط $\frac{w_1-w_2}{k_1-k_2}$.

وهذا يشير إلى أن أي إشارة مركبة من موجتين أو أكثر يتغير شكلها مع مرور الزمن أثناء تقدمها في وسط مشتت بسبب اختلاف سرعة تقدم المنحني المستمر داخل الغلاف عن سرعة الغلاف.

وفي الغالبية العظمى من الحالات التي تواجهنا في الفيزياء تكون سرعة المنحني المستمر $\frac{w_1+w_2}{k_1+k_2}$ داخل الغلاف أكبر من سرعة الغلاف $\frac{w_1-w_2}{k_1-k_2}$، وهذا النوع من التشتت يدعى بالتشتت العادي، ومثال على ذلك هو الموجات السطحية ذات الأطوال الموجية الهائلة في البحار حيث يمكن إهمال تأثيرات التوتر السطحي.

وفي حالات نادرة في الفيزياء تكون سرعة الغلاف المنقط $\frac{w_1-w_2}{k_1-k_2}$ أكبر من سرعة المنحني المستمر $\frac{w_1+w_2}{k_1+k_2}$ وهذا النوع من التشتت يدعى بالتشتت الشاذ، ومن الأمثلة على ذلك هي الموجات المستعرضة في قضيب صلب والموجات الكهرومغناطيسية القريبة مما يسمى بحافة الامتصاص أو التجاوب.

والآن يجب أن ندرس كمية ذات أهمية خاصة في الفيزياء، وهي السرعة التي تتقدم بها الطاقة التي تحملها مجموعة موجية مركبة من موجتين أو أكثر.

وقد علمنا في حالة التعامل مع موجة منفردة أن الطاقة التي تحملها تتقدم بسرعة هي سرعة تقدم السعة العظمى والتي هي طبعاً سرعة الموجة (أو سرعة الطور).

أما في حالة أي مجموعة موجية ولتكن الحالة المبينة في الشكل (7.4) فنلاحظ أن سرعة تقدم السعة العظمى هي سرعة الغلاف المنقط ويتبع ذلك أن الطاقة تتقدم بسرعة الغلاف، وهذه السرعة تدعى بسرعة المجموعة وسنرمز لها بالحرف c_g لتمييزها عن سرعة الموجة c. وقد وجدنا أن الغلاف يتحرك بسرعة $\frac{w_1 - w_2}{k_1 - k_2}$ لذلك فإن:

$$c_g = \frac{w_1 - w_2}{k_1 - k_2} \qquad \textbf{(7.22)}$$

وقد فرضنا في البداية أن w_1 تختلف عن w_2 و k_1 عن k_2 بمقادير صغيرة جداً لذلك يمكن كتابة العلاقة (7.22) بالشكل:

$$c_g = \frac{dw}{dk}$$

وعندما تقترب قيمة dk من الصفر فعندئذ نحصل على:

$$c_g = \frac{dw}{dk} \qquad \textbf{(7.23)}$$

ولكن لدينا:

$$k = \frac{2p}{l} \quad , \qquad w = 2pf$$

لذلك فإن:

$$c_g = \frac{d(2pf)}{d(2p/l)} = \frac{df}{d(1/l)} = -l^2 \frac{df}{dl} \qquad \textbf{(7.24)}$$

وهذه المعادلة الهامة يمكن التعبير عنها بصيغ أخرى مفيدة وكما يلي:

لدينا العلاقة

$$w = kc \qquad \textbf{(7.25)}$$

حيث أن c هي سرعة الموجة (إن الموجات المركبة التي تشكل المجموعة الموجية لها سرع مختلفة ولكن متقاربة مع بعضها في القيمة لذلك

يمكن استخدام القيمة المفردة لــ(c).

وعندئذ نحصل على سرعة المجموعة بالصيغة:

$$c_g = \frac{d w}{dk} = \frac{d\left(kc\right)}{dk}$$

$$c_g = c + k\,\frac{dc}{dk} \qquad \textbf{(7.26)}$$

وإذا عوضنا:

$$k = \frac{2p}{l}$$

في المعادلة (7.26) نحصل على:

$$c_g = c + \frac{1}{l}\frac{dc}{d\left(1/l\right)}$$

ومنها نجد أن سرعة المجموعة تعطى بالعلاقة:

$$c_g = c - l\,\frac{dc}{d\,l} \qquad \textbf{(7.27)}$$

ولابد هنا أن نشير إلى أن تسمية المجموعة الموجية غير مناسبة تماماً إذا كانت المجموعة مؤلفة من موجتين فقط إذ أن التسمية تكون أفضل للمجموعة إذا كانت مؤلفة من عدد كبير من الموجات.

ورغم أن هذه النتائج استخلصناها من تركيب موجتين فقط إلا أنها صحيحة تماماً لأي مجموعة مركبة من أي عدد من الموجات، فعندما يكون لدينا مجموعة مؤلفة من عدد كبير من الموجات فعندئذ نختار أقصر وأطول موجتين من المجموعة ونتعامل معهما بالأسلوب السابق نفسه ونتوصل إلى نتائج تمثل بدقة كافية السلوك الجماعي للمجموعة الموجية، أما إذا كانت المجموعة مؤلفة من ما لانهاية من الموجات فعندئذ نحتاج إلى استخدام رياضيات متقدمة تشتمل على نظرية تحويلات فورير التي تقع خارج نطاق دراستنا.

7. 15. سرعة الموجات الصوتية في الأوساط المختلفة:

إن الموجات الصوتية هي موجات طولية (أي موجات تضاغطية) في أي وسط مادي وإن سرعة هذه الموجات c في الموائع (سائل أو غاز) تعطى بالمعادلة:

$$c = \sqrt{\frac{K}{r}} \qquad \textbf{(7.28)}$$

حيث أن ρ هي كثافة المائع وk هو معامل المرونة الحجمي ويعطى بالعلاقة:

$$k = \frac{\Delta p}{\Delta V \ /V} \qquad \textbf{(7.29)}$$

حيث أن ΔV هو مقدار التغير في الحجم V الذي يسببه تغير في الضغط قدره Δp

وفي الغازات التي تخضع لعملية كظومة (اديباتيكية) تكون:

$$K = g P \qquad \textbf{(7.30)}$$

حيث أن P هو ضغط الغاز وg هي النسبة بين السعة الحرارية للغاز تحت ضغط ثابت إلى السعة الحرارية للغاز تحت حجم ثابت وقيمة g تعتمد على عدد درجات الحرية لجزيء الغاز وهذا يعتمد بدوره على درجة تعقيد الجزيء، فالغازات الأحادية الذرة تكون قيمة $g=1.66$ والغازات الثنائية الذرة تكون قيمة $g=1.40$ والغازات الثلاثية الذرة تكون قيمة $g=1.29$ والهواء الجوي الذي معظم مكوناته غازات ثنائية الذرة تكون قيمة $g=1.40$.

وبما أن السوائل صعبة الانضغاط (K كبيرة) لذلك فإن سرعة الصوت فيها (C) كبيرة بالمقارنة مع سرعة الصوت في الغازات.

إن سرعة الموجات الطولية في المواد الصلبة تعتمد على إبعاد الجسم الصلب الذي تمر خلاله الموجة التضاغطية.

إن مرور مثل هذه الموجة في أي وسط يحدث تضاغطاً في يصاحبه

قوة قص ولما كان الوسط الصلب بخلاف الموائع (السوائل والغازات) يبدي مقاومة للقوى القصية أو المماسية لذلك يحدث في الوسط الصلب موجات طولية بالإضافة إلى الموجات المستعرضة، فإذا كان الجسم الصلب على شكل قضيب معدني رقيق محدود المقطع العرضي فإن تأثير التشوه المستعرض يكون معقداً جداً وغاية في الصغر ويمكن إهماله وعليه تكون سرعة الموجات الطولية C في القضيب الصلب هي:

$$C = \sqrt{\frac{Y}{r}} \qquad \textbf{(7.31)}$$

حيث Y هو معامل المرونة الطولي (معامل يونغ) وρ هي كثافة مادة القضيب. أما في الأجسام الصلبة الممتدة فإن تأثير التشوه المستعرض لا يمكن إهماله وعليه يجب أن نأخذ بالحسبان كلاً من الموجتين الطولية والمستعرضة.

إن سرعة الموجات الطولية C_L في الجسم الصلب الممتد إلى مالا نهاية في جميع الاتجاهات تتوقف على معامل الصلابة n كما على معامل المرونة الحجمي K أي أن:

$$C_L = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}n}{r}} \qquad \textbf{(7.32)}$$

حيث أن ρ هي كثافة مادة الجسم الصلب ولدينا العلاقات بين معاملات المرونة:

$$n = \frac{Y}{2(1+s)}$$

$$K = \frac{Y}{3(1-2s)}$$

وبالتعويض n وK في المعادلة (7.32) نجد أن سرعة الموجات الطولية في الجسم الصلب الممتد هي:

$$C_L = \sqrt{\frac{Y\ (1-s\ )}{r\ (1+s\ )(1-2s\ )}}$$

حيث أن σ هي نسبة بواسرن وتساوي *0.25* لمعظم المواد الصلبة.

وسرعة الموجات المستعرضة C_L في الأجسام الصلبة الممتدة تتوقف على معامل القص n أي أن:

$$C_L = \sqrt{\frac{n}{r}}$$

ولكن:

$$n = \sqrt{\frac{Y}{2r\ (1+s\ )}}$$

لذلك فإن:

$$C_T = \sqrt{\frac{Y}{2r\ (1+s\ )}}$$

إن الموجات التضاغطية (الطولية) والموجات القصية المستعرضة يمكن أن تتقدم في الأوساط الصلبة الممتدة إلى ما لانهاية على شكل موجات مستوية أو كروية أو اسطوانية

إن النسبة بين سرعة الموجة الطولية C_L سرعة الموجة المستعرضة C_T يمكن إيجادها بدلالة نسبة بويسون فقط.

ولما كانت قيمة σ أقل من واحد لذلك نستنتج أن سرعة الموجة الطولية أكبر دائماً من سرعة الموجة المستعرضة.

إن سرعة الموجات التضاغطية في معظم المعادن المهمة تتراوح بين *4000* م/ثا و *6000* م/ثا وفي بعض المواد ذات الصلابة العالية تكون السرعة أكبر.

وهكذا يتضح أن سرعة الموجات الصوتية في المواد الصلبة أكبر بشكل ملحوظ مما هي في المواد السائلة، والغازية.

7. 16. العوامل المؤثرة في سرعة الموجة الصوتية في الهواء

يعد الهواء واحداً من أهم الأوساط المادية لانتقال الموجات الصوتية وهناك جملة من العوامل المؤثرة في سرعة انتقال الموجة الصوتية في الهواء وهي:

1- تأثير تغير الضغط على سرعة الصوت

إن سرعة تقدم الموجة الصوتية في الهواء لا تتأثر إذا تغير ضغط الهواء، وذلك لأن أي تغير في ضغط كتلة معينة من الهواء يولد تغيراً مقابلاً في حجم الهواء، إذا كان حجم الهواء V وكتلته m فعندئذ تكون كثافته ρ هي:

$$r = \frac{m}{V} \qquad \textbf{(7.33)}$$

وطبقاً لقانون بويل إذا كان لدينا كتلة معينة من الغاز تحت درجة حرارية ثابتة فإن:

$$pV = \text{مقدار ثابت} \qquad \textbf{(7.34)}$$

حيث p هو ضغط الهواء.

وبتعويض V من (7.33) في (7.34) نحصل على:

$$\frac{pm}{r} = \text{مقدار ثابت}$$

أو

$$\frac{p}{r} = \text{مقدار ثابت آخر}$$

وهذا يعني أنه إذا تضاعف ضغط الغاز فإن كثافته تتضاعف أيضاً وبذلك تبقى النسبة p ثابتة، ولما كانت سرعة الصوت c هي:

$$c = \sqrt{\frac{g\,p}{r}}$$

لذلك فإن سرعة الصوت في الهواء أو أي غاز لا تعتمد على تغيرات الضغط بشرط بقاء درجة الحرارة ثابتة.

2- تأثير تغير درجة الحرارة على سرعة الصوت

لدينا سرعة الصوت في الهواء أو أي غاز هي:

$$c = \sqrt{\frac{g\,p}{r}}$$

ولكن المعادلة العامة للغاز (إذا كان مثالياً) هي:

$$PV = \frac{m}{M} RT \qquad \textbf{(7.35)}$$

حيث m كتلة الغاز R الثابت العام للغاز وT درجة الحرارة المطلقة للغاز وM الوزن الجزيئي للغاز من هذه المعادلة نحصل على:

$$P = \frac{m}{V}\frac{RT}{M} = r\,RT\ /M$$

نعوض في معادلة سرعة الصوت فنجد أن:

$$c = \sqrt{g\,RT\ /M}$$

ولكن g وR وM ثوابت لأي غاز معين لذلك فإن:

$$c = k\,\sqrt{T} \qquad \textbf{(7.36)}$$

حيث k هو مقدار ثابت ويساوي $\sqrt{g\,R\ /M}$

ولذلك فإن سرعة الصوت في أي غاز تتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لدرجة الحرارة المطلقة لذلك الغاز.

وإذا فرضنا أن سرعة الصوت في درجة الصفر سيلزيوس هي C_0 فإن المعادلة (7.36) تصبح:

$$C_0 = k\,\sqrt{273} \qquad \textbf{(7.37)}$$

وإذا فرضنا أن سرعة الصوت في درجة الحرارة t سيلزيوس هي c_t فإن المعادلة (7.36) تصبح:

$$C_t = k\,\sqrt{273} + t \qquad \textbf{(7.38)}$$

وبتقسيم (7.38) على (7.37) نحصل على:

$$\frac{C_t}{C_0}=\sqrt{\frac{273+t}{273}}=\left(1+\frac{t}{273}\right)^{1/2}$$

وبفك القوس باستخدام نظرية ذات الحدين نحصل على:

$$\frac{C_t}{C_0}=1+\frac{1}{546}$$

لذلك فإن:

$$C_t=C_0\left(1+\frac{t}{546}\right)$$

وإذ افترضنا أن سرعة الصوت في الهواء في درجة الصفر هي *322* م/ثا فإن:

$$C_t=322\left(1+\frac{t}{546}\right)$$

$$C_t=322+0.611 \qquad \textbf{(7.39)}$$

الحد الأول في الطرف الأيمن يمثل سرعة الصوت في درجة الصفر سيلزيوس بينما الحد الثاني يمثل الزيادة في سرعة الصوت إذا ازدادت درجة الحرارة بمقدار t.

ومن ذلك نستنتج أن مقدار الزيادة في سرعة الصوت عندما تزداد درجة الحرارة بمقدار واحد درجة سيلزيوس = *0.61* م/ثا.

3- تأثير تغير الرطوبة في سرعة الصوت:

من المعلوم أن كثافة بخار الماء تحت الشروط القياسية من ضغط ودرجة حرارة تساوي *0.0008* غم/سم^3 ($=\frac{18}{22400}$ غم/سم^3) بينما كثافة الهواء الجاف بالشروط نفسها هي *0.001293* غم/سم^3 لذلك فإن كثافة البخار أقل من كثافة الهواء الجاف، وعليه فإن الهواء الرطب يجب أن تكون كثافته أقل من كثافة الهواء الجاف.

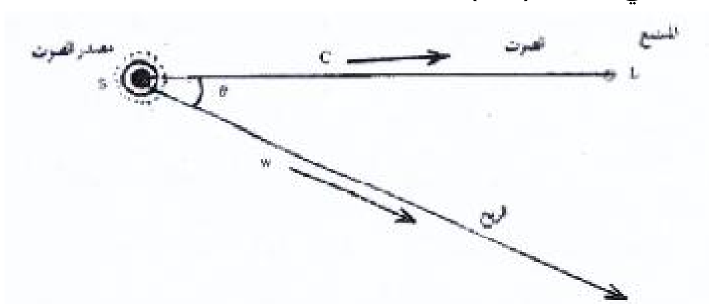
وبما أن سرعة الصوت تزداد كلما قلت كثافة الوسط، لذلك فإن سرعة

الصوت في الهواء تزداد مع ازدياد رطوبته، على افتراض أن قيمة y ثابتة عملياً للهواء الجاف كما للهواء المشبع ببخار الماء.

4- تأثير الريح في سرعة الصوت في الهواء

عندما تهب الريح بسرعة W باتجاه تقدم الصوت نفسه فإن سرعة الصوت تزداد وتصبح محصلة سرعته $(c+W)$ ولكن إذا كانت الريح تهب باتجاه معاكس لاتجاه تقدم الصوت فإن سرعة الصوت تقل وتصبح محصلة سرعته $(c-W)$.

أما إذا كانت الرياح تهب باتجاه يصنع زاوية θ مع اتجاه انتقال الصوت كما هو مبين في الشكل (7.5).



الشكل (7.5). يبين اتجاه حركة الموجة الصوتية واتجاه حركة الريح

فإن مركبة سرعة الريح باتجاه $Wcos\theta = SL$ وهذه المركبة تضاف إلى السرعة c وعليه فإن الصوت ينتقل بالاتجاه SL بمحصلة سرعة تساوي $(c+Wcos\theta)$ ولذلك فإن الصوت يتحرك أسرع إذا كانت الزاوية θ حادة. ويكون أبطأ إذا كانت الزاوية θ منفرجة. ولا يكون للريح تأثير في سرعة الصوت إذا كانت $90^o=\theta$ أو عندما تهب الريح عمودية على اتجاه تقدم الصوت. إذا كانت الريح

تهب بنفس اتجاه انتقال الصوت فإن $\theta=0^o$ وبذلك تصبح سرعة الصوت ($c+w$). أما إذا كانت الريح تهب بعكس اتجاه انتقال الصوت فإن $\theta=180^o$ وبذلك تصبح سرعة الصوت $c+w$.

5- تأثير تردد الطول الموجي في سرعة الصوت:

إن سرعة الصوت c في الهواء لا تعتمد على تردد الصوت f أو طوله الموجي l وذلك لأن:

$$C=fl \text{ مقدار ثابت}$$

وتكون سرعة الصوت في الهواء ثابتة طالما كانت خواص الهواء ثابتة.

6- تأثير السعة في سرعة الصوت في الهواء:

إن سرعة الصوت في الهواء لا تتوقف على السعة ما لم تكن السعة كبيرة جداً. وفي الأصوات الاعتيادية حيث السعة صغيرة تكون سرعة الصوت ثابتة وهي سرعته الاعتيادية في الهواء. أما في حالة الأصوات الشديدة الناتجة من المدفعية أو الانفجارات حيث السعة كبيرة فإن الصوت يتقدم بسرعة أكبر من سرعته الاعتيادية.

7. 17. الخواص الموجية للصوت

إن الخواص الموجية للصوت مألوفة ويسهل ملاحظتها في حياتنا اليومية بينما الخواص الموجية للضوء تحتاج إلى تجارب في غاية الدقة لإظهارها. وأهم الخواص الموجية للصوت هي:

1- الانكسار

2- الانعكاس

3- التداخل

4- الانعراج

5- الاستطارة

وسنتعرض باختصار شديد كل خاصية من هذه الخواص.

<u>انكسار الصوت:</u>

إن الموجات الصوتية تنكسر عندما تنتقل من وسط إلى آخر بنفس أسلوب انكسار الموجات الضوئية. وهذا ناتج من اختلاف سرعة الصوت في الوسطين المختلفين.

وفي الحقيقة عندما تتحرك موجة صوتية في وسط وتقابل وسط آخر فإن جزءاً من الطاقة ينكسر في الوسط الثاني وجزء يمتصه الوسط ويتحول من طاقة صوتية إلى طاقة حرارية والجزء الآخر ينعكس عائداً إلى نفس الوسط الأول. ومقدار الجزء المنكسر يعتمد على الكثافة النسبية للوسطين وزاوية السقوط.

<u>انعكاس الصوت:</u>

عندما تقابل الموجات الصوتية وسطاً أكثر كثافة من الوسط الذي كانت تتحرك فيه فإنها ترتد في اتجاهها وتنعكس إلى الوسط الأول الذي كانت به وبنفس الوقت فإنها تعاني تغيراً في الطور. وتتبع الموجات الصوتية عندما تنعكس نفس القوانين الاعتيادية للانعكاس التي تخضع لها الموجات الضوئية. وشدة الموجة المنعكسة تعتمد على شدة الموجة الساقطة وزاوية السقوط وطبيعة السطح العاكس.

إن خاصية انعكاس الصوت تعلب دوراً هاماً في العديد من الظواهر المألوفة مثل: الصدى والترديد في الأبنية والنغمة الموسيقية المسموعة عند وضع محارة قرب الأذن. وما الموجات الواقفة في أي جسم مهتز إلا إحدى نتائج الانعكاس.

تداخل الموجات الصوتية:

هو التعبير العلمي الذي يشير إلى التأثيرات الفيزيائية الناتجة عند تراكب موجتين أو أكثر.

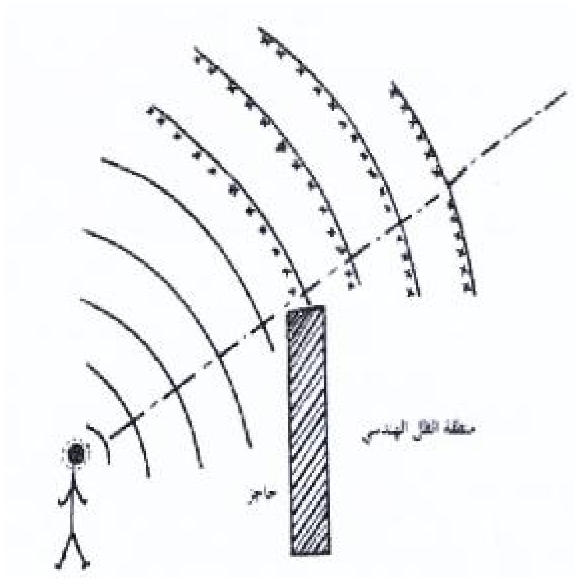
ظاهرة الانعراج:

إن ظاهرة الانعراج تعني أن الموجات الصوتية تنحني حول العوائق التي تعترضها وتدخل منطقة الظل الهندسي. وخير مثال على ذلك أنك تسمع صوت شخص يناديك من وراء حاجز دون أن تراه وهذا يعني أن الموجات الصوتية تحيد عن مسارها عند حافة الحاجز وتدخل منطقة الظل الهندسي كما هو مبين في الشكل (7.6) وهكذا يتضح أن الموجات الصوتية تغير اتجاه تقدمها عندما تجابه عوائق في طريقها، وظاهرة الحيود مألوفة وواضحة في الصوت بينما هي ليست كذلك في الضوء بسبب أن طول الموجة الصوتية كبير جداً بالمقارنة مع طول الموجة الضوئية. وأن مقدار الانعراج (أو الانعطاف) حول العائق يزداد مع ازدياد الطول الموجي وعليه فإن الصوت العالي التردد يعطي ظلاً أكثر حدة من الصوت المنخفض التردد وظاهرة الحيود يمكن تفسيرها على أساس قاعدة هويكنز التي تنص على أن أي نقطة في جبهة الموجة يمكن عدها مصدراً جديداً لموجات ثانوية.

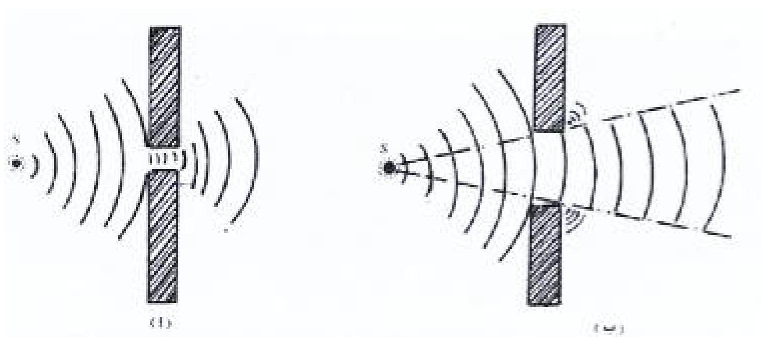
ويمكن توضيح ذلك بوضع مصدر S أمام حاجز فيه فتحة صغيرة ذات أبعاد صغيرة بالمقارنة مع الطول الموجي للصوت الصادر من المصدر. فنلاحظ أن الثقب الصغير يصبح مركز لموجات كروية كما هو مبين في الشكل (7.7أ). أما إذا كانت الفتحة كبيرة كما في الشكل (7.7ب) فإن الموجة تمر خلالها دون أن يعاني الجزء الأكبر من جبهة الموجة أي تغيير إلا عند الحافات حيث يحيد جزء من الموجة نحو الظل الهندسي بمقدار يتوقف على إبعاد الفتحة

والطول الموجي. وقد وجد أن تأثير الحيود يقل كلما ازدادت أبعاد الفتحة بالمقارنة مع الطول الموجي.

إن موجات الصوت تحيد عن مسارها ولا تنعكس تماماً عندما تسقط على جسم عاكس أبعاده مقاربة للطول الموجي.



الشكل (7.6) يبين ظاهرة الحيود حول حافة حاجز



الشكل (7.7)