

الصوت

الصوت هو اهتزاز، أي اضطراب ميكانيكي دوري يحدث في الأوساط المرنة الغازية والسائلة والصلبة.

إن الأمواج المرنة ذات التواترات بدءاً من أخفض التواترات وحتى ($10^{12} - 10^{13} \text{ Hz}$) تُسمى الأمواج الصوتية. ويؤدي تأثير الأمواج الصوتية في جهاز السمع لدى الإنسان إلى تشكل الإحساس السمعي في مجال التواتر من 16 Hz إلى 20000 Hz .

ولذلك الأمواج الميكانيكية في هذا المجال تُسمى الأمواج الصوتية. ومن أجل تواتر أكبر من 20 kHz لا تسمح عطالة الجهاز السمعي بتشكيل الإحساس بالسمع، ويُسمى مجال هذه التواترات بفوق الصوت. ولا ينشأ الإحساس السمعي أيضاً من أجل تواتر أصغر من 16 Hz ومثل هذه الأمواج تسمى الأمواج تحت الصوتية.

1.7. الخواص الفيزيائية والفيزيولوجية للأمواج الصوتية

إن للخصائص الفيزيائية للأمواج الصوتية طابع موضوعي، ويمكن قياسه بأجهزة موافقة بوحدات عيارية. ولكن الإحساس بالسمع الذي ينشأ تحت تأثير الأمواج الصوتية هو ذاتي الطابع، ويتم تحديد ميزاته إلى حد كبير ببارامترات التأثير الفيزيائي.

تعتمد سرعة الأمواج الصوتية v على خصائص الوسط الذي تنتشر فيه: معامل مرونة الوسط E وكثافته ρ :

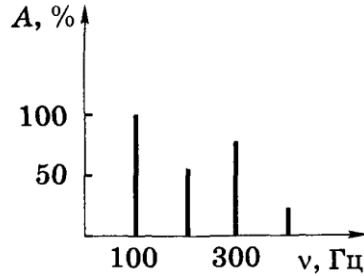
$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (7.1)$$

تبلغ سرعة الصوت في الهواء نحو 340 m/s وتتعلق بدرجة الحرارة (مع تغير درجة الحرارة تتغير كثافة الهواء). وتبلغ هذه السرعة نحو 1500 m/s في السوائل و $3000 - 6000 \text{ m/s}$ في الأجسام الصلبة.

يلاحظ من العلاقة (7.1) أن سرعة انتشار الأمواج الصوتية مختلفة التواتر لها نفس السرعة عملياً في نفس الوسط، ويُستثنى منها التواترات التي يمتصها الوسط بشدة.

يمثل مجموعة التوافقيات محددة التواتر والسعة. ويُسمى تواتر التوافقية الأولى ω بالنغمة الأساسية، والتوافقيات ذات الرتب الأعلى (بتواتر $2\omega, 3\omega, 4\omega$ وغيرها) تسمى فوق النغمات.

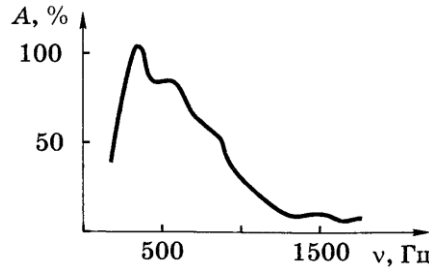
إذا مثلت الاهتزازات الصوتية عملية دورية، فإنها تُسمى **نغمات** أو أصوات موسيقية. ولها طيف توافقي منفصل.



الشكل 1.7. طيف نغمات معقد

توافق **النغمة النقية** (أو البسيطة) اهتزاز ميكانيكي ذو تواتر واحد فقط. ويوضح الشكل (1.7) طيف نغمات معقد مؤلف من أربعة مركبات توافقية: $100, 200, 300, 400 \text{ Hz}$. واعتبر أن قيمة سعة النغمة الأساسية 100% .

تملك الأصوات غير الدورية المسماة **الضجيج** أطيفاً صوتية مستمرة (الشكل 2.7). وينجم الضجيج عن العمليات المترافقة بتغير سعة وتواتر الاهتزاز الصوتي مع الزمن (اهتزاز أجزاء الآلات والحفيف وغيرها).



الشكل 2.7. طيف الضجيج

شدة الصوت I : تُعبر شدة الصوت عن طاقة الموجة الصوتية المارة من خلال واحدة السطوح خلال واحدة الزمن وتقاس بوحدة W/m^2 .

الضغط الصوتي: يرافق انتشار الصوت في الوسط نشوء ضغط إضافي ما يتحرك من منبع الصوت إلى المستقبل. وقيمة **الضغط الصوتي** P هي أيضاً خاصة فيزيائية للصوت ولوسط الانتشار. ويرتبط الضغط الصوتي بشدة الصوت بالعلاقة:

$$P = \sqrt{2I \rho v} \quad (7.2)$$

حيث: ρ - كثافة الوسط، v - سرعة انتشار الصوت في الوسط.
ويُسمى المقدار $Z = \rho v$ المقاومة النوعية الصوتية أو المعاوقة الصوتية النوعية.

2.7. منطقة السمع، عتبة السمع وعتبة الاحساس بالألم

إن الإحساس السمعي لا يتشكل إلا عندما تتجاوز شدة الأمواج الصوتية قيمة دنيا معينة، تُسمى **عتبة السمع**. ولهذه العتبة قيمةً مختلفةً تبعاً لاختلاف تواتر مجال الصوت، فالحساسية ليست متساوية بالنسبة للتأثيرات الصوتية عند اختلاف التواتر، ويعني هذا أن لجهاز السمع حساسية طيفية.

تبلغ قيمة عتبة شدة الصوت حد أدنى $10^{-12} W/m^2$. ونشير أن سعة اهتزاز جسيمات الهواء أصغر بمئات المرات من قطر جزيئاته من أجل الشدة $10^{-12} W/m^2$. ويُشكل جهاز السمع الطبيعي إحساساً سمعياً حتى في حالة تأثيرات الطاقة الضعيفة للغاية.

لتحديد العلاقة الكمية بين شدة الصوت والجهورية نُدخل مستوى شدة الصوت L وهو مقدار يتناسب مع اللوغاريتم العشري لنسبة شدة الصوت I إلى الشدة عند عتبة السمع $I_0 = 10^{-12} W/m^2$:

$$\beta = L = n \log \frac{I}{I_0} \quad (7.3)$$

يحدد المعامل n في العلاقة (7.3) وحدة قياس مستوى شدة الصوت. وعادة ما تُؤخذ $n = 10$ ، وعندئذ يُقاس المقدار L بالديسيبل (dB). عند عتبة السمع ($I = I_0$) مستوى شدة الصوت $L = 0$ ، وعند عتبة الإحساس بالألم ($I = 10 W/m^2$) $L = 130 dB$.

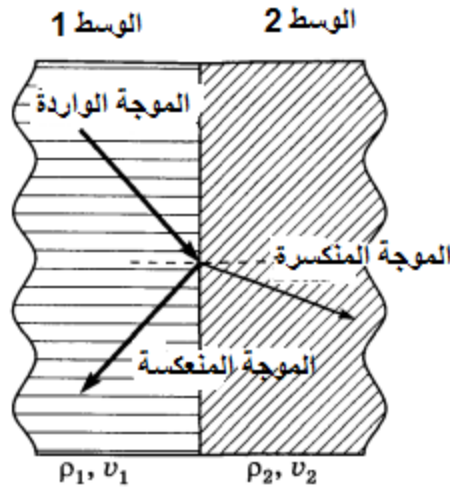
مثلاً إذا بلغت شدة الصوت $I = 10^{-7} W/m^2$ (وهذا ما يتوافق مع المحادثة العادية) فمن الصيغة (7.3) ينتج أن مستوى شدته تبلغ $L = 50 dB$.

4.7. انعكاس وامتصاص الأمواج الصوتية

تخضع الأمواج الصوتية عند عبورها لحد فاصل بين وسطين مختلفين للانعكاس والانكسار وفقاً لقوانين مماثلة لقوانين انعكاس وانكسار الضوء (الشكل 5.7).

يُحدد معامل الانعكاس R نسبة شدة الموجة الصوتية المنعكسة I_{refl} إلى شدة الموجة الواردة على السطح الفاصل I_{inci} :

$$R = \frac{I_{refl}}{I_{inci}}$$



الشكل 5.7. انعكاس وانكسار الأمواج الصوتية

وتعتمد قيمة معامل الانعكاس على نسبة كثافة الوسطين (ρ_2 و ρ_1) وعلى سرعة انتشار الأمواج الصوتية في هذين الوسطين (v_2 و v_1).

ويطلق على جداء كثافة الوسط وسرعة انتشار الأمواج الصوتية فيه المعاوقة الصوتية النوعية أو مقاومة الموجة:

$$Z = \rho v$$

وبما أن $v = \sqrt{E/\rho}$ [انظر العلاقة (1.7)] فإن:

$$Z = \sqrt{E\rho}$$

وفي حالة الورود العمودي على السطح:

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2, \text{ أو } R = \left(\frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \right)^2 \quad (7.5)$$

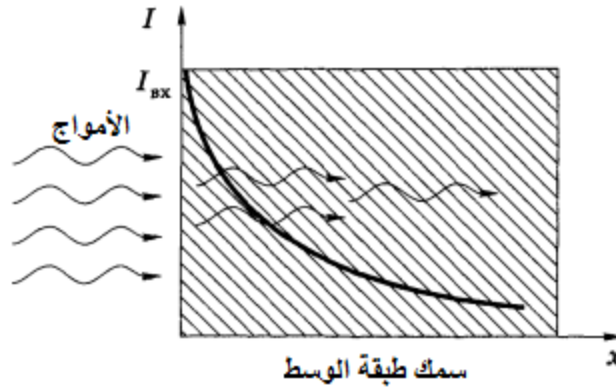
بموجب الصيغة (7.5) كلما كان فرق المعاوقة للوسطين أكبر كلما كان معامل الانعكاس أكبر. مثلاً عند الحد الفاصل هواء- ماء ينعكس 99% وأكثر من طاقة الموجة الصوتية وجزء صغير جداً فقط ينفذ إلى الماء عند الورود من الهواء. ومنه معامل النفاذية $D = 1 - R$.

وهكذا عند ورود الأمواج الصوتية بشدة I_{inci} على السطح الفاصل بين وسطين تنشأ موجة منعكسة بشدة $I_{refl} = RI_{inci}$ وأمواج تنفذ في الوسط الثاني بشدة $I_{ent} = DI_{inci}$.

يرافق عملية انتشار الأمواج الصوتية في الوسط امتصاصها، وتتناقص شدة الموجة I_{pass} مع ازدياد المسافة x التي تعبرها في الوسط وفق قانون أسي:

$$I_{pass} = I_{ent} e^{-kx} \quad (7.6)$$

حيث k -معامل الامتصاص، ويتعلق بخصائص الوسط وبتواتر الموجة. ويوضح الشكل 6.7 هذه التبعية.



الشكل 6.7. تبعية شدة الموجة الصوتية I العابرة من خلال طبقة الوسط ذات السمك x

يرتبط امتصاص الأمواج الصوتية في الوسط بشكل كبير بتواتر الأمواج. ومع ازدياد التواتر يزداد معامل الامتصاص k في جميع الأوساط وامتصاص الأمواج الصوتية عالية التواتر أكبر بكثير من امتصاص الأمواج منخفضة التواتر.