[٢١] الدرس الحادى والعشرون

الصوت Sound

[٢١ ـ ١] عام :

تعرضنا فى الدرس السابق لمجموعة كبيرة من الموجات المختلفة وقد استثنينا عن عمد نوع هام جداً من الموجات ألا وهو موجات الصوت .

والصوت يختلف جداً وكثيراً عن طائفة الـ EMS للموجات ولا يوجد أى علاقة من قريب أو بعيد فيما بينهما .

وتنشأ موجات الصوت من اهتزاز الأجسام وكما نعلم فالنغمات الموسيقية التى تستمع إليها من الكمان أو من البيانو أو من آلة العود تنشأ من اهتزاز الأوتار المشدودة لهذه الآلات وتصل إلينا خلال الهواء وعندما يتكلم الإنسان فإن الصوت ينشأ من اهتزاز الأحبال الصوتية للحنجرة .

وتنتقل موجات الصوت خلال الغازات والسوائل والأجسام الصلبة كذلك .

وعند اقتراب قطار من محطة فإنه يمكننا أن نستمع لاهتزاز قضبان القطار قبل أن نتمكن من مشاهدة القطار أثناء قدومه ، فالمادة الصلبة للقضبان هى التى تحمل صوت القطار والذى ينتقل صوته إلينا عبر الهواء .

وتُستخدم فى عالم البحار أجهزة لتحديد الأعماق باستخدام موجات الصوت معتمداً على ظاهرة انتقال الأصوات عبر السوائل « المياه » ـ أجهزة السونار/Sonar ونتيجة لصغر حجم القمر ووزنه نسبياً فإن جاذبيته تقل عن

جاذبية الأرض مما يؤدى إلى عدم وجود غلاف جوى بدرجة كافية ، ولهذا السبب فإن رواد الفضاء على سطح القمر ، يتم التخاطب فيما بينهما باستعمال أجهزة الراديو حتى لو كانا متقاربين لأن الغلاف الجوى صغير ولا يصلح لنقل الأصوات مباشرة .

[٢١ ـ ٢] كيفية انتقال موجات الصوت :

علمنا أن الصوت ينشأ من اهتزاز الأجسام ، ويؤثر هذا الاهتزاز فى جزيئات الوسط المحيط بالأجسام المهتزة ، فتهتز هى الأخرى إلى أن يصل الصوت إلى المستمع وجزيئات الوسط ، ليست هى بحد ذاتها الصوت ، إلا أنه بدونها ، لا ينتقل الصوت بل يخيم السكون .

فالصوت يحتاج إلى وسط مادى « كالهواء » لكى ينتقل خلاله فهو لا ينتقل فى الفراغ ــ والفراغ هو الوسط الخالى من المادة أو من الجزيئات ــ ولذلك يستخدم رواد الفضاء أجهزة الإرسال اللاسلكية للتحدث مع بعضهم البعض كما سبق وأن ذكرنا ، وذلك لأن الأمواج الصادرة عن أجهزة الإرسال هذه ، تستطيع الانتقال فى الفراغ تماماً مثل الأمواج الضوئية .

◄ تجربة لبيان كيفية انتقال الصوت :

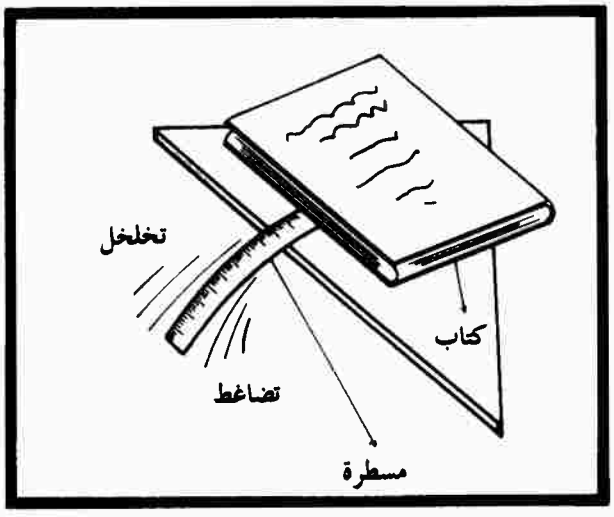
جرب ما يلى باستخدام مسطرتك :

اثن المسطرة بالضغط عليها لأسفل ثم دعها تهتز .

١ ـ فعندما تكون المسطرة فى أعلى موضع لها فإنها تعمل على تقارب جزيئات الهواء فوق المسطرة وفى نفس الوقت تتباعد جزيئات الهواء تحت المسطرة .

ويطلق على هذا ، بأن جزيئات الهواء فوق المسطرة فى حالة تضاغط Compression فى حين أن الجزيئات التى تحت المسطرة تكون فى حالة تخلخل rarefaction .

٢ ـ وعندما تكون المسطرة فى أسفل موضع لها فإنها تعمل على تضاغط الهواء أسفلها بينما تخلخل الهواء الذى فوقها ، انظر شكل (٢١ ـ ١) .



شكل [٢١ ـ ١]

٣ ـ فى هذه الأثناء تتباعد جزيئات الهواء الذى يتضاغط أولاً مما ينشأ عنه تضاغط آخر للجزيئات التى تقع فوقها مباشرة .

وهكذا تمر كل مجموعة من الجزيئات المحيطة بالمسطرة فى حالات متعاقبة من التضاغط والتخلخل نتيجة للحركة الاهتزازية للمسطرة .

ويسمع الإنسان الأصوات الصادرة عن الأجسام لأن هذا النوع من التضاغطات والتخلخلات المتعاقبة ، المنتشرة فى الهواء من مصدر الصوت يصل إلى الأذن فيعمل على اهتزاز طبلة الأذن ، وتتحول هذه الاهتزازات داخل الأذن إلى نبضات كهربائية تنتقل خلال العصب السمعى إلى المخ الذى يقوم بترجمة هذه النبضات إلى أصوات .

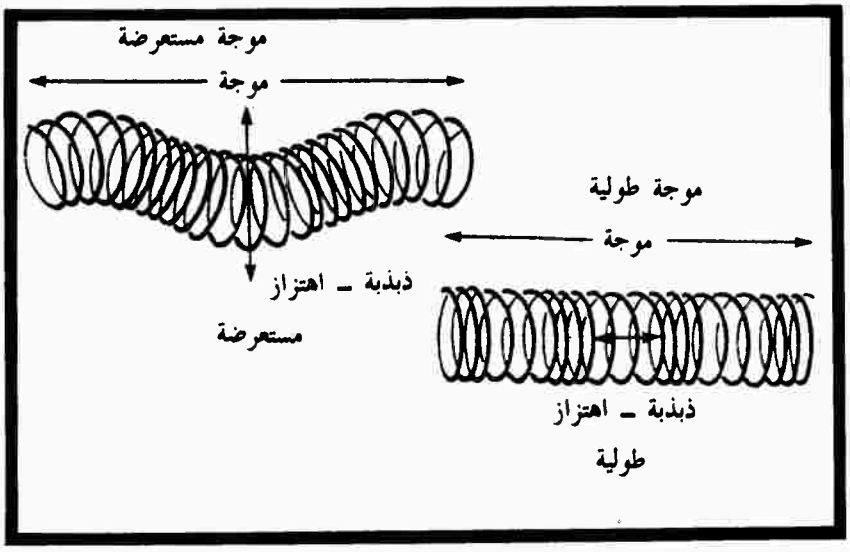
[٢١ ـ ٣] سرعة موجات الصوت :

وحيث أن اهتزاز جزيئات الهواء يكون فى نفس اتجاه الموجة ، لذلك فإن موجات الصوت يطلق عليها بالموجات الطولية Longitudinal wave.

وعند إلقاء حجر فى الماء فإنه تحدث موجات وتتحرك جزيئات الماء لأعلى و لأسفل رأسياً فى حين تتحرك موجة الماء وبذلك فإن الذبذبة تكون رأسية بينما تتحرك الموجة أفقياً فى اتجاه سطح الماء .

وبمعنى آخر فإن الموجات التى تتحرك عمودياً على اتجاه تذبذب الجزيئات تُعرف بالموجة المستعرضة Transverse wave ، وموجات الماء هى مثال للموجات المستعرضة وكذلك موجات الضوء والراديو .

انظر شكل (٢١ ـ ٢) وهو يوضح الموجات الطولية والمستعرضة .



شكل [٢١ ـ ٢]
الموجات المستعرضة والطولية

وينتقل الصوت خلال أى شيء وكل شيء فيما عدا الفراغ Vacuum وهذا ببساطة يرجع إلى أن جزيئات المادة أياً كانت ، قادرة على إمرار الاهتزازات عبرها ، وبعض المواد يمكنها نقل موجات الصوت ، بصورة أفضل من غيرها وفيما يلى قائمة مرتبة للمواد التى ينتقل خلالها الصوت ، وهى مرتبة تنازليا ، فأعلى القائمة للمواد ذات التوصيل الفائق بينما تلك التى بأسفل القائمة فهى للأقل جودة فى التوصيل ، انظر جدول (٢١ ـ ١) وهو يوضح سرعة الصوت بالتقريب بالمتر/ث لهذه المواد .

المادة	سرعة الصوت بالمتر/ث تقريباً
الصلب	٦٠٠٠
الألومنيوم	٥١٠٠
الأحجـار	٥٠٠٠
الزجـاج	٤٥٠٠
النحاس	٣٧٠٠
الماء	١٥٠٠
الزيـت	١٥٠٠
الفحـم	٥٠٠
الهواء	٣٤٠
الأوكسجين	٣١٦
ثانى أكسيد الكربون	٢٦٠

جدول [٢١ ـ ١]

ويلاحظ أن الهواء بأسفل القائمة وهنالك مواد كثيرة فوقه بالقائمة ، تعتبر أفضل من الهواء فى توصيل موجات الصوت ، وهو ينتقل خلال الأجسام الصلبة والسائلة بسرعة أكبر من سرعة انتقاله فى الهواء وهذا ما يجعلنا نعرف بقرب وصول القطار بسماع اهتزاز قضبانه الحديدية قبل سماع صوت القطار نفسه عن طريق الهواء .

ويشبه انتقال الصوت خلال المواد ، انتقال الحرارة بالحمل خلال المادة .

فالموصل الجيد للحرارة يسمح بمرور الحرارة خلاله بسرعة ، والموصل الجيد لموجات الصوت ، كذلك ، يسمح للصوت بالانتقال عبره وبسرعة .

فإذا كان تردد الموجة ت ذبذبة/ثانية وطول الموجة جـ م/ث فإن سرعة موجة الصوت :

ع = ت × جـ م/ث .

وتبلغ سرعة الصوت فى الهواء ٣٤٠ م/ث ، عند درجة الحرارة المعتادة فإذا فرضنا موجة صوت ذات ذبذبة = ٥٠٠ هرتز/ث ، فيكون طول موجة الصوت هذه :

$$جـ = \frac{ع}{ت} = \frac{٣٤٠}{٥٠٠} = ٠,٦٨ \text{ متر .}$$

ولا تعتمد سرعة الصوت على ضغط الهواء فسرعة الصوت فوق قمة جبل حيث الضغط منخفض هى نفسها سرعة الصوت عند أسفل الجبل « ضغط جوى معتاد » وحيث أن سرعة موجات الضوء تبلغ ٣٠٠,٠٠٠ كم/ث ، أى أنها أكبر بكثير جداً عن سرعة موجات الصوت ، لذلك فالإنسان يمكنه أن يرى البرق وبعدها بلحظات يستطيع أن يسمع صوت الرعد .

ومن الجدول السابق نلاحظ أن سرعة الصوت فى الأحجار أعلى منها فى الهواء وهذا ما دفع هنود أمريكا الشمالية الحمر ، إلى وضع آذانهم على الأرض للإصغاء بهدف التأكد من وجود خيول تقترب من أماكن وجودهم .

[٢١ ـ ٤] الأصوات تحت الماء :

تزود السفن بأجهزة تمكنها من كشف أى جسم تحتها مثل الغواصة وكذلك يمكنها تحديد عمق هذه الغواصة وذلك بإرسال موجات (نبضات)

صوتية داخل الماء ، فإذا ما صادفت هذه الموجات جسماً فإنها تنعكس عند اصطدامها به وبمعرفة الوقت الذى تستغرقه النبضة منذ خروجها من السفينة وحتى رجوعها إليها وبمعرفة سرعة الصوت فى الماء (حوالى ١٥٠٠ م/ث أى حوالى أربعة أضعاف سرعة الصوت فى الهواء) ، يمكن تحديد بعد الجسم الذى انعكست عنه الموجات (النبضات) الصوتية ويطلق على هذه الأجهزة بأجهزة تحديد الأبعاد بالصدى ـ جهاز السونار Sonar .

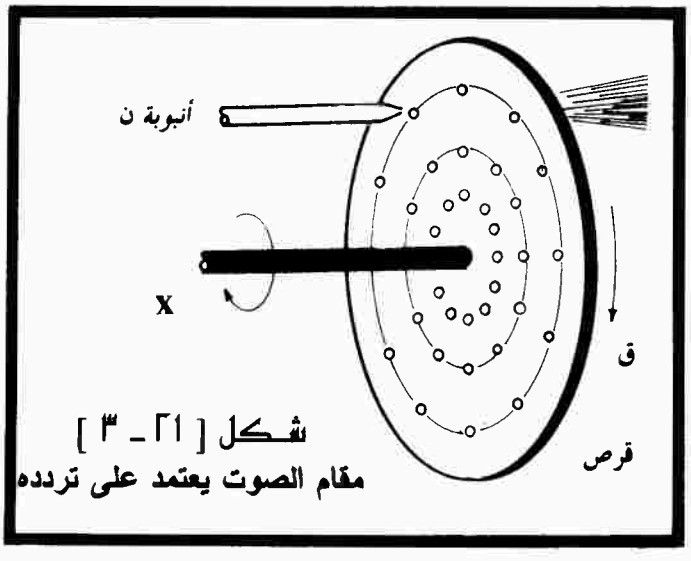
وتستخدم سفن صيد الأسماك هذه الأجهزة لتحديد تجمعات الأسماك وكميتها وعمقها حتى تسهل عملية الصيد .

[٢١ ـ ٥] خواص الصوت *Sound Characteristics:*

١ ـ مقام الصوت *Pitch.* :

يمكن تمييز صوت الأطفال أثناء لعبهم بواسطة من هم أكبر منهم سناً والذين يفترض أن أصواتهم ذات مقام صوت أعلا من الأطفال .

ويعتمد مقام الصوت على التردد ، ويمكن إثبات هذا باستخدام قرص معدنى دائرى « ق » ، انظر شكل [٢١ ـ ٣] .



شكل [٢١ ـ ٣]
مقام الصوت يعتمد على تردده

وبالقرص مجموعة من الفتحات وعلى أبعاد متساوية من مركز القرص ، فعند النفخ بهواء عبر الأنبوبة « ن » ، خلال هذه الفتحات أثناء دوران القرص حول محوره بمحرك كهربائى مثلاً ، فإننا نسمع نغمة أو علامة موسيقية note .

وبإدارة القرص بسرعة أكبر عن ذى قبل بواسطة المحرك الكهربى فإن تردد النفخ يزداد وهنا نسمع النغمة أو العلامة الموسيقية وقد ازدادت .

وإذا ما ثبتنا سرعة القرص عند سرعة معينة وقمنا بزيادة النفخ فى الأنبوبة « ن » خلال الثقوب فإن النغمة المسموعة تُصبح عالية إلا أنها تكون من نفس المقام .

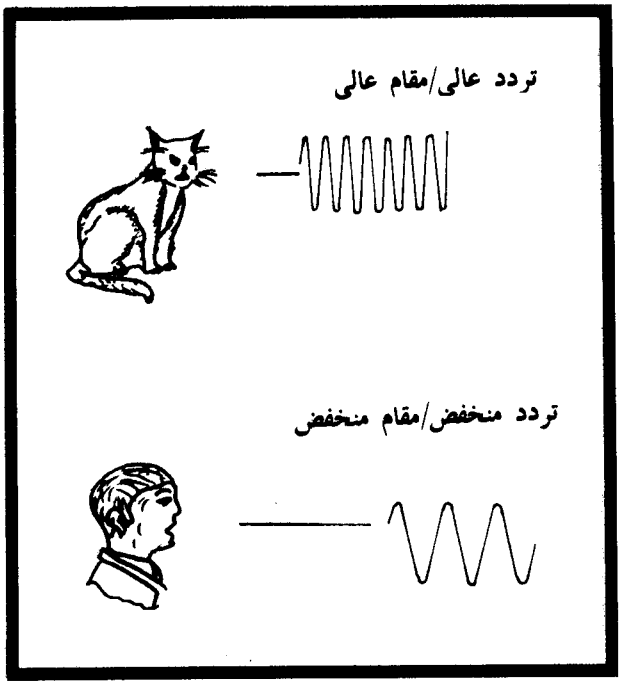
ومما سبق نستنتج أن مقام النغمة المسموعة يعتمد على تذبذبها أو ترددها فمثلاً نجد أن نغمة صوت ذو مقام عالٍ مثل الصادر عن صراخ طفل ، ذات تردد عالٍ .

ونجد أن الصفارة لها تردد يبلغ حوالى ١٠٠٠ هرتز/ث .

ونجد أن نغمة صوت ذو مقام منخفض مثل ذلك الصوت الفظ (الأجش) لها تردد منخفض حوالى ١٠٠ ذبذبة (هرتز)/ثانية .

وقد خلق الله ــ سبحانه وتعالى ــ أُذن الإنسان بحيث يمكنها استقبال أصوات بترددات تصل إلى ٢٠٠٠٠ ذبذبة/ث وما يزيد عن هذا لا يسمعه الإنسان إلا أن بعض الحيوانات مثل الكلاب والقطط لها أصوات بترددات تفوق هذا الرقم بكثير .

وتستطيع الدرافيل أن تُصدر أصواتاً بتردد يزيد عن ١٠٠ ٠٠٠ ذبذبة/ث مما يمكنها أن تتعرف على بعضها البعض تحت الماء . انظر شكل (٢١ ــ ٤) .



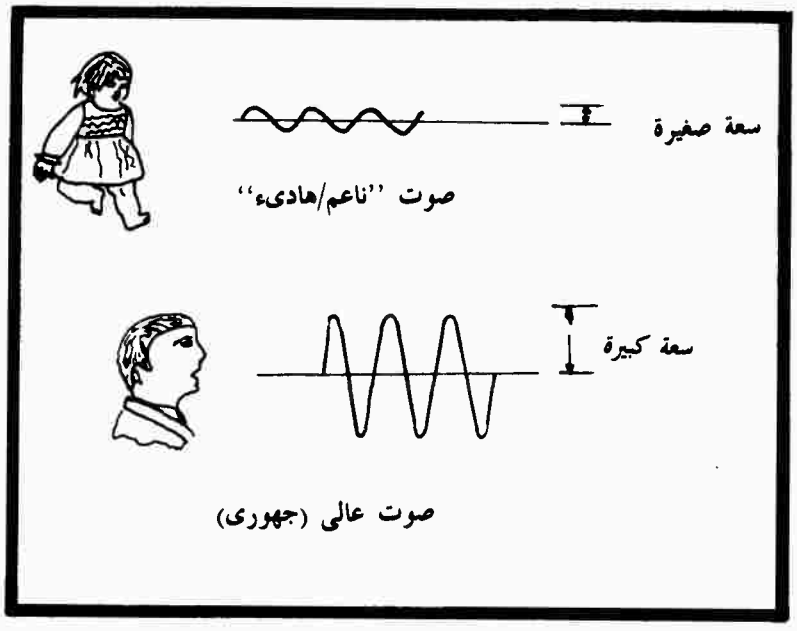
شكل [٢١ ـ ٤]
يعتمد مقام الصوت على التردد

٢ ـ ارتفاع الصوت وشدته *Loudness and intensity* :

إذا ما أدرنا مفتاح تعلية الصوت Volume فى جهاز راديو أو تلفزيون مثلاً ، فجأة نجد أن الجسيمات الصغيرة والقريبة من الجهاز تبدأ فى التطاير بتأثير علو الصوت . وذلك لأن الطاقة الصادرة من المستقبل والحال هكذا تكون عالية عن ذى قبل ، فنقول أن شدة الصوت أو ارتفاعه قد ازدادت .

وعلى ذلك فإن ارتفاع الصوت يعتمد على سعة amplitude الموجة وكما هو مبين فى شكل [٢١ ـ ٥] .

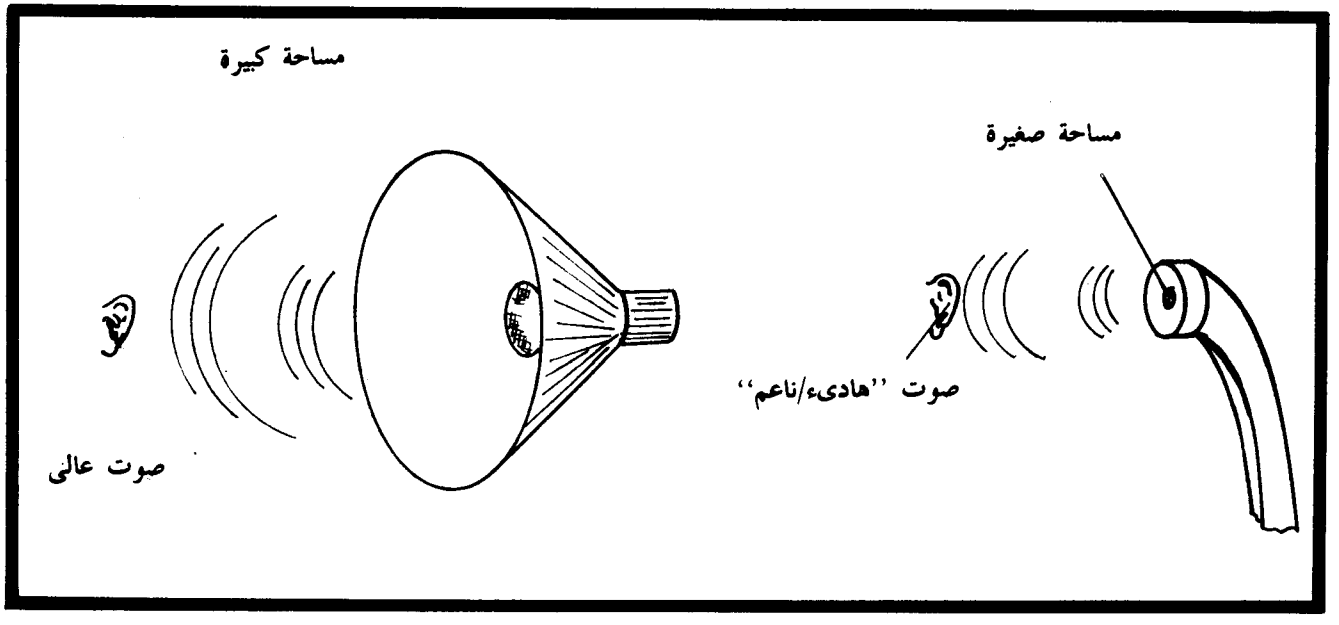
نجد رجلاً وطفلة كل منهما يطلق نغمة لها نفس التردد ، إلا أن نغمة صوت الرجل أعلى (أشد) منها بالنسبة للطفلة وذلك يرجع إلى أن سعة موجة صوت الرجل أكبر من سعة موجة صوت الطفلة .



شكل [٢١ ـ ٨]
تعتمد شدة الصوت وارتفاعه على السعة

وعموماً فإنه كلما زادت كتلة الهواء المهتز كلما كان الصوت أعلى وأشد فنجد أن سماعة التليفون يمكننا أن نسمع بها بوضع إذا ما قربناها للأذن وذلك يرجع إلى أن الجزء المعدنى الدائرى بداخل السماعة له مساحة صغيرة مما يؤدى إلى اهتزاز كمية الهواء الملاصقة لهذه المساحة فيكون الصوت أشد كلما اقتربنا منها .

فى حين نجد أن سماعة جهاز الراديو الترانزستور أو التلفزيون يمكننا أن نسمع منها صوتاً أعلى وأشد وذلك مرجعه إلى أن السماعة Loudspeaker المخروطية الشكل لها مساحة سطح كبيرة نسبياً مما يؤدي إلى اهتزاز كمية هواء أكبر انظر شكل (٢١ ـ ٦) .



شكل [٢١ ـ ٦]
الأصوات العالية والمنخفضة