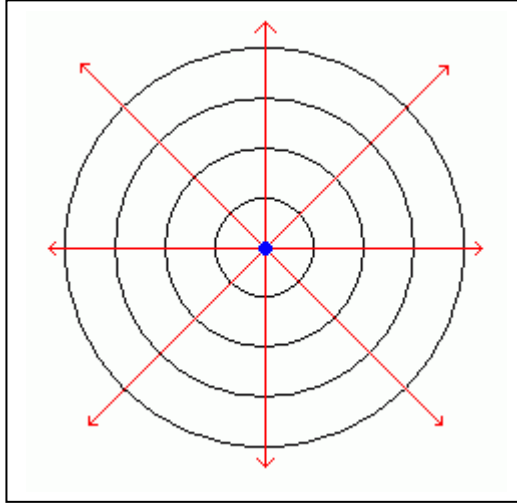


- أعمال تطبيقية.

بعض خصائص الأمواج الصوتية:

يمكننا أن نتخيل الآن أن الصوت الصادر من شفتي شخص ما هو إلا اهتزازات ميكانيكية تنتشر في الفضاء المحيط به وفق أسطح كروية (طالما أن الانتشار يحدث في الفراغ، أي في جميع الاتجاهات، وليس على سطح مستو كما رأينا في حالة سطح الماء) تكون مراكزها فم المتكلم.



الدور:

نسمي الزمن الفاصل بين اهتزازتين (اضطرا بين) الدور، ويرمز له بالرمز T ووحدته الثانية (s).

التواتر:

كما نسمي عدد الاهتزازات في الثانية الواحدة التواتر، ويرمز له بالرمز f ، ووحدته الهيرتز (Hz).

سرعة الانتشار:

تسمى المسافة التي يقطعها الاضطراب خلال وحدة الزمن سرعة انتشار الموجة، ويرمز لها بالرمز V ووحدتها متر/ثانية (m/s).

طول الموجة:

كما تسمى المسافة بين قمتين (أو قعرين) متتاليين طول الموجة، ويرمز لها بالرمز λ ووحدتها المتر (m). وهناك علاقة بين هذه المقادير كلها.

$$T = \frac{1}{f} \quad \lambda = VT$$

تعتمد سرعة انتشار الصوت في الهواء على درجة الحرارة. ففي درجة الحرارة العادية (20 درجة مئوية) تكون قيمة هذه السرعة من مرتبة 340 m/s، 380m/s عند درجة حرارة 100°C. وينتشر الصوت في أوساط أخرى غير الهواء بسرعات انتشار مختلفة. وهكذا فإن الصوت ينتشر في الماء، في درجة حرارته العادية، بسرعة 1500m/s، وتتنوع بطبيعة الماء مثل ضغط الماء ودرجة ملوحته.

إليك قيم سرعة الصوت في بعض الأوساط:

الأوساط الغازية

الوسط	الهواء (20°م)	الهواء (0°م)	H ₂	CO ₂
سرعة الانتشار	334m/s	321.29m/s	1270m/s	258m/s

الأوساط السائلة

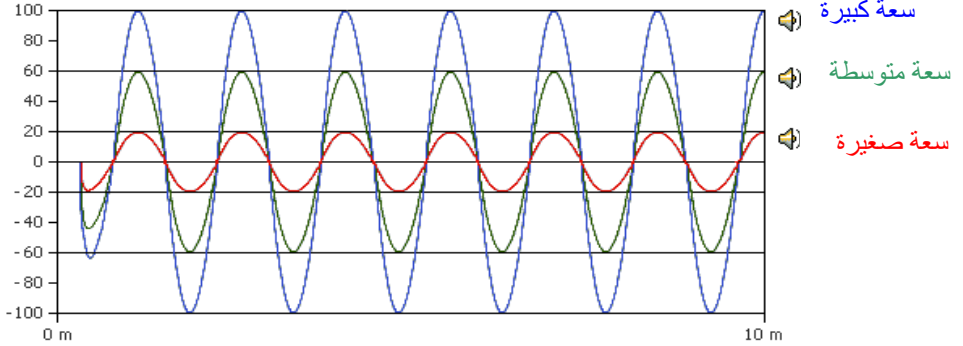
الوسط	الماء	ماء البحر	الماء المقطر	الكحول الإيثيلي
سرعة الانتشار عند (20°م)	1450m/s	1531 m/s	1496m/s	1170m/s

الأوساط الصلبة

الوسط	الرصاص	الفولاذ	الألومنيوم	الخشب	الزجاج
سرعة الانتشار	1250m/s	5050m/s	5200m/s	1000-4000m/s	3500-5000m/s

سعة الموجة الصوتية:

نميز عادة الصوت إلى أصوات قوية وأصوات ضعيفة. يتعلق هذا التمييز بسعة اهتزازات الهواء الذي ينقل الأصوات إلى الأذن. فإذا تكلم إنسان بصوت عادي فإنه يحدث أمام فم المتكلم تغير في ضغط الهواء يقارب جزءا من المليون من قيمة الضغط الجوي، وهذا يبين حساسية جهاز حاسة السمع. إن انتشار اهتزاز هو في نفس الوقت انتشار للطاقة الميكانيكية. فلكي نحدث إحساسا بالصوت لدى شاب عادي تكفي طاقة قدرها 10^{-16} واط لكل سنتيمتر مربع.



طاقة الموجة الصوتية:

تسمى الطاقة المنقولة عبر وحدة السطح شدة الموجة الصوتية، التي يمكن قياسها كما رأينا بالواط لكل سنتيمتر مربع (w/cm^2) ، لكن يفضل إعطاؤها حالياً وحدة أخرى هي الديسيبال (db)، وهي وحدة حديثة وعملية تقرر بشدة مرجعية. ولأسباب عملية تؤخذ القيمة صفر كقيمة لهذه الشدة تلك التي توافق الحد الأدنى (العتبة) للاستماع، أي القيمة الدنيا لشدة الصوت والتي لا يمكن لأذن الإنسان العادي الاستماع إلى صوت ذي شدة أقل.

فمن أجل حوار عادي، مثلاً، فإن شدته تكون 50db على مسافة بضعة أمتار.

الشدة بالديسيبال	مصدر الصوت
220	صوت مدفع على أربعة أمتار
140	طائرة نفاثة
130	آلة حفر
120 (عتبة الألم)	موسيقى صاخبة

محل حدادة	110
حوار على بعد 1 متر	70
حي سكني هاديء	40
عتبة السمع	0 (الحد الأدنى للصوت المسموع)

ونلاحظ أنه كلما ابتعدنا عن مصدر الصوت كلما كانت شدة الصوت ضعيفة، وهذا يرجع إلى كون الطاقة الكلية في لحظة معينة تنتشر في كل الاتجاهات، وكلما زادت المسافة فإن هذه الطاقة تتوزع على مساحات أكبر فأكبر، وهذا ما يجعل، بالمقابل، الطاقة في وحدة المساحة (أي الشدة) تتناقص أكثر فأكثر.

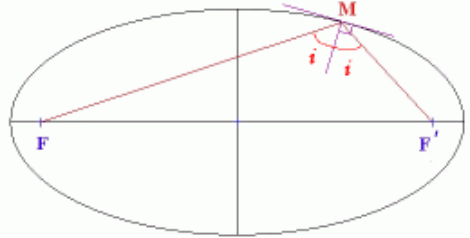
وعليه، فمن أجل وسط انتشار متجانس ولا نهائي، تتوزع الطاقة بعد مدة معينة على كرة سطحها يزداد بشكل يتناسب طردا مع مربع البعد عن المنبع. الشيء الذي يجعل شدة الصوت تتناقص بشكل يتناسب عكسا مع مربع هذا البعد. لكن وسطا مثاليا كهذا قليلا ما يصادف عمليا، لأن أوساط الانتشار لا هي غير محدودة (لانهائية)، ولا هي متجانسة دائما. كما أن قانون التناسب العكسي لشدة الصوت هذا غير كاف لأنه يهمل سببا آخر لنقصان الطاقة الصوتية: امتصاص الصوت وتحول الطاقة الصوتية إلى حرارة.

إن هذا الامتصاص يكون معتبرا في الأوساط اللزجة، ناهيك عن انعكاس وانكسار وانتثار الصوت التي تزيد من هذا الامتصاص، لأن للصوت، مثله مثل الظواهر الموجية (الضوء مثلا)، خاصيتا الانعكاس والانكسار.

انعكاس الصوت -الصدى:

إن أحسن مثال على انعكاس الصوت هو ظاهرة الصدى الناتج عندما يصدر صوت قوي أمام جدار أو جبل عال، فنشعر برجع الصوت بعد فترة من إصداره، والشيء نفسه يحدث عندما نستمع إلى خطيب متواجد في قاعة كبيرة، حيث يصل

الصوت إلى المستمع بشدة قوية. والسبب في ذلك هو أن هذا المستمع يتلقى، إضافة إلى الموجة الصوتية المباشرة، الأمواج المنعكسة على جدران وسقف القاعة، الشيء الذي يزيد من شدة الصوت الذي تستقبله أذن المستمع، فيكون استماعه جيدا. لكن قد يكون لظاهرة انعكاس الصوت جانب سلبي أحيانا، لأنه قد لاتصل الأمواج الصوتية المنعكسة إلى الأذن في آن واحد، ولا في نفس الوقت مع الموجة المباشرة، وهنا يحدث تشويش واستقبال سيء لكلام الخطيب ويصبح من الصعب فهمه، لذا ينبغي إعداد القاعة لتصبح لائقة من جانب الاستماع، وهذا مجال الهندسة الصوتية، حيث نجد بعض القاعات أو البنايات مكيفة بشكل تستغل فيه ظاهرة انعكاس الصوت بكيفية تجعل الاستماع داخلها جيدا.



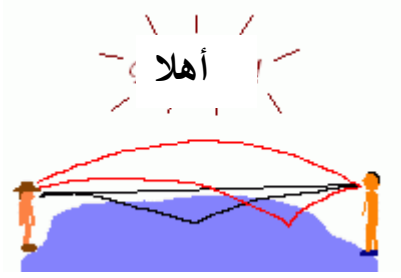
هذه محطة ميترو، صمم بناؤها بشكل نرى فيه السقف ذا شكل قطع ناقص، من مادة الخزف العاكس جيدا للصوت. ومن الخصائص الهندسية للقطوع الناقصة أن العمود المنشأ على المماس في نقطة M معطاة من القطع الناقص ينصف الزاوية $\angle FMF'$ ، حيث F و F' محرقا القطع الناقص. وعليه فإن كل الأمواج الصوتية التي تنطلق من النقطة F على رصيف المحطة تصل إلى النقطة F' من الرصيف المقابل. وانطلاقا من هذه الخاصية، يكون بإمكان شخصين متقابلين على الرصيفين أن يتخاطبا بسهولة.

انكسار الصوت:

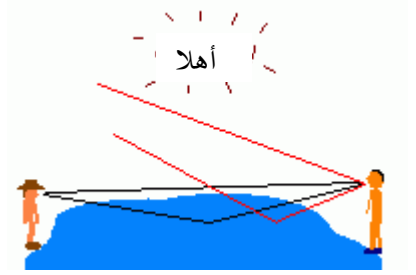
أما ظاهرة انكسار الصوت فلا تكون واضحة في أغلب الأحيان لأنها تحدث عندما تنتشر الموجة في وسطين مختلفين، أو في وسط غير متجانس، حيث تتدرج فيه درجة الحرارة أو درجة الملوحة. مثل ما يحدث تماما في ظاهرة انكسار الضوء.

فمثلا يمكن لشخصين، موجودين على ضفتي نهر أو بركة ماء أبرد من الهواء الخارجي الذي تسخنه أشعة الشمس الأولى التي تظهر في الصباح الباكر، أن يتخاطبا بسهولة ودون أدنى جهد إضافي عبر سطح البركة أو النهر. لأن الصوت ينتشر في طبقة الهواء الساخن (نسبيا) فوق سطح الماء البارد أو المتجمد، بعدما يعاني عدة انكسارات حسب تدرج حرارة الوسط وبشكل يصبح فيه في الأخير محصورا بين طبقة الهواء الساخنة نسبيا وسطح الماء العاكس تماما للصوت، وهكذا يصبح انتشار الصوت كأنه موجه عبر هذا الحيز ولا يحدث له تشتت في كل الاتجاهات، فيصل إلى المستمع واضحا.

فكر في هذه الظاهرة وقارنها بما درسته في الضوء في جزئه المتعلق بظاهرة السراب. ألا يمكن أن نعتبر هذه الظاهرة نوعا من "السراب الصوتي"؟ وبالمثل ألا يمكننا أن نعتبر الصدى كأنه "صورة صوتية"؟.



الاتصال بين طرفي البركة سهل عندما
يكون الماء متجمدا أو أبرد من طبقة
الهواء المجاورة له. كل الأمواج الصوتية
المتجهة نحو الأعلى تنكسر نحو الأسفل



الاتصال بين طرفي البركة صعب عندما
تكون درجة الحرارة متجانسة هناك فقط
بعض الأمواج الصوتية يكون بإمكانها
الوصول إلى الشخص الآخر.

بعض التطبيقات العملية لانعكاس الصوت

إن ظاهرتي انعكاس الصوت وانكساره تلعبان دورا هاما في مجال سبر أعماق البحار والكشف الطبي باستعمال الأمواج الصوتية.

إن أهم ظاهرة مثيرة للانتباه في الضوء هي قدرته على الالتفاف حول الحواجز، وهي خاصية عامة للأمواج تدعى ظاهرة الانعراج.

الإيكوغرافيا:

تستخدم الإيكوغرافيا في التشخيص الطبي، وهي تعتمد على استقبال الصدى فوق الصوتي الذي تعكسه الأسطح الغير متجانسة في الممانعة للأمواج الصوتية والتي تقع في الأنسجة. وهي تستخدم للكشف عن الأنسجة الرخوة، وتعطي نتائج دقيقة وواضحة بعد فحصها وتحليلها بواسطة تجهيز إلكتروني مناسب. وأصبح التشخيص الطبي بالإيكوغرافيا لمسالك الحوصلة الصفراوية والكبد والقلب والغدة الدرقية والبنكرياس والطحال والكلى والأجنة في بطون أمهاتهم من أهم مستلزمات الطب الحديث.

الصونار:

يطلق اسم الصونار (sonar) (Sound Navigation Ranging) على جملة التقنيات التي تسمح بإرسال واستقبال المعلومات عبر الأوساط البحرية، وهذا بإرسال



موجات صوتية. تنتشر هذه الأمواج في الماء على مسافات طويلة، عكس ما هو عليه بالنسبة للأمواج الضوئية والكهرومغناطيسية التي تمتص بسرعة. تغطي تقنيات الصونار عدة مجالات للتواتر ، فهي تستعمل مجالات الأمواج الصوتية المسموعة (بين حوالي هيرتز 15 و 20 كيلو هيرتز) كما تستعمل مجال التواترات فوق السمعية. إن الهدف الأساسي لتقنيات الصونار هو الكشف عن منابع الضجيج أو الحواجز المغمورة في الماء. وهناك نوعان من الصونار:

الصونار الخامل :

يرصد الأصوات أو ما فوق الأصوات التي يحتمل أن يرسلها الجسم المرصود، كما يمكنه إعطاء معلومات عن اتجاهه وأحيانا المسافة التي يوجد عليها.

الصونار النشط :

مثله مثل الرادار يرسل إشارات ليستقبل بعدها الأصداء المنعكسة لها على الأجسام المستهدفة للرصد.

- التسجيل الزلزالي:

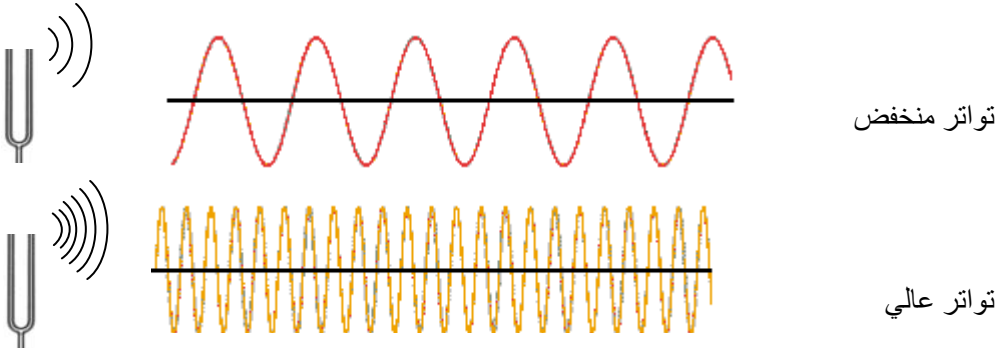
يتم تسجيل الحركة الاهتزازية للقشرة الأرضية التي هي الزلازل عن طريق تجهيزات خاصة ،أهم جزء فيها هو السيسموغراف Sismographe وهو جهاز يتألف أساسا من ريشة قلم يمكنه تسجيل على ورقة ملصقة بأسطوانة دوارة عند اهتزاز هذه الأخيرة . القلم مثبت بكتلة معلقة بنابض في صندوق الجهاز . هذا الجهاز يشتغل على الدوام لالتقاط الاهتزازات الأرضية وتسجيلها، وتكون الشدة قصوى بمناسبة حدوث الزلازل.



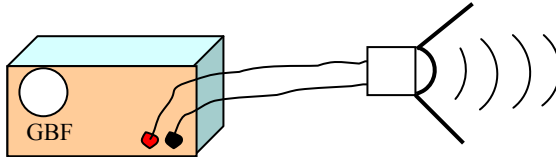
قراءة وتحليل التسجيل ، بعد حدوث

ارتفاع الصوت:

يتميز الصوت، بالإضافة إلى الشدة، بخاصية أخرى هي الارتفاع. فعندما نسمع صوتين على التوالي، فإننا نميز حدسيا بأن أحدهما **حاد**، والآخر **غليظ**. إن المقدار الفيزيائي الذي يميز الاختلاف بين الصوتين هو التواتر. فيكون الصوت حادا كلما كان تواتره عال، ويكون غليظا كلما كان تواتره منخفضا.

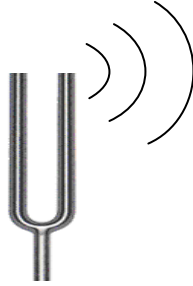


هناك عدة طرق تسمح بإحداث صوت ذي تواتر معين ، وكفي لذلك توفير جملة مهتزة تحدث خلخلة في ضغط الهواء بقدر مناسب للحصول على صوت يتميز بتواتر معين. فمثلا يمكن ربط مكبر الصوت بمولد للتواترات المنخفضة (GBF) وضبطه على القيمة 440 هيرتز مثلا



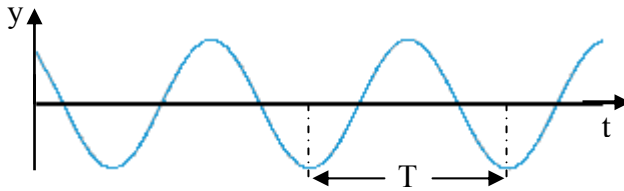
للحصول على صوت تواتره 440 هيرتز. كما يمكن إحداث صوت بنفس المواصفات باستعمال آلة لنفخ الهواء وضع أمامها قرص مسنن يحتوي على 44

سنا ويدور بسرعة قدرها 10 دورات في الثانية الواحدة. هذا التركيب الأخير ما هو إلا جهاز إنذار بدائي كان يستعمل قديما لإحداث أصوات مختلفة. إن العلاقة بين الارتفاع وتواتر الصوت ليست دائما بسيطة، كما نلاحظ ذلك بين صوت الإنسان والأصوات الصادرة عن الآلات الموسيقية، لذلك يفضل أن نقتصر على أصوات خالصة وبسيطة كتلك التي تصدر مثلا عن شوكة رنانة، التي نعتبرها جيبية.

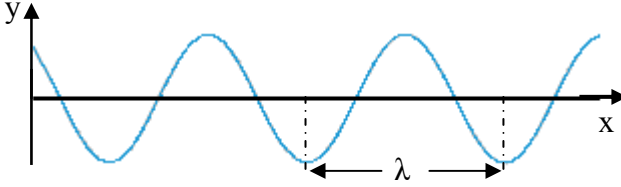


شوكة رنانة

فمن أجل موجة صوتية جيبية خالصة ، يسمى الزمن اللازم لدورة كاملة لتغير الضغط خلاله الدور، يرمز له - كما رأينا سابقا - بالرمز T ووحدته هي الثانية.



ورأينا كذلك بأن مقلوب الدور يمثل تواتر الاهتزازة ويعبر عنه بالهيرتز. كما تسمى المسافة المقطوعة من قبل الموجة خلال دور **طول الموجة**، ويرمز لها بالرمز λ .



وللتواتر وحدة أساسية، كما رأينا، هي الهيرتز Hz، ولهذه الوحدة مضاعفات مثل الكيلوهرتز KHz، أي 1000 هيرتز أو (10^3 هيرتز)، والميغا هيرتز MHz (10^6 هيرتز)، والجيجا هيرتز GHz (10^9 هيرتز).

إن من أهم السمات المتعلقة بالأصوات الخالصة اختلاف حساسية الأذن تجاهها. فالاهتزازات ذات التواترات الأقل من 15 هيرتز تقريبا لا تحدث أي إحساس صوتي لدى الإنسان، ومن أجل التواترات الأكبر والتي تفوق قيمها 20000 هيرتز، تخففي الاستماعية عند الإنسان عموما. وفي الواقع فإن عتبة الاستماعية تتناقص بتناقص التواتر حسب السن، كما تتعلق هذه الاستماعية بطبيعة الحال بالشدة، بينما نجد اختلافات في عتبة الاستماعية بالنسبة للحيوانات المختلفة. فالقط يمكنه سماع أصوات إلى غاية 25kHz والكلب يمكنه سماع أصوات إلى غاية 35kHz، بينما يمكن للخفاش والدلفين الاستماع إلى أصوات ذات تواتر 100kHz. تستخدم بعض الحيوانات قدرتها على استعمال مجال لتواتر الصوت في أغراض مختلفة.

فالفيلة تستعمل ما تحت الموجات الصوتية للاتصال فيما بينها لمسافة عدة كيلومترات، بينما تتصل الدلافين فيما بينها باستعمال الموجات فوق الصوتية. كما أن الخفافيش تصدر الأمواج فوق الصوتية (حوالي 80kHz) لتتمكن من التنقل والاصطياد في الظلام الدامس.

وخلاصة القول: يمكن القول بأن السمة البارزة في الصوت هي أنه إذا زادت تواترات الأمواج الصوتية عن قيم معينة فإن الأذن لا تشعر بهذه الأمواج الصوتية وهذا مهما كانت شدتها. وحينها تسمى هذه الأمواج **الأمواج فوق الصوتية**. وبالمقابل لا تشعر الأذن بالإحساس الصوتي من أجل أمواج تواترها أقل من 15 هيرتز تقريبا ، تسمى هذه الأمواج **الأمواج تحت الصوتية**.

يوجد في الطبيعة عدد قليل من الأصوات الخالصة. فالأصوات الحقيقية ، عندما



تكون دورية، تكون عبارة عن تركيب معقد نسبيا لأصوات فرعية جيبية ذات تواترات محددة، تكون واحدة أو جملة من هذه التواترات على العموم هي السائدة تعطي للصوت طابعا فيزيولوجيا خاصا يسمى **النبرة**. فإذا لعب موسيقار النوتة الموسيقية لا من السلم الموسيقي باستعمال الرنان أو باستعمال البيانو أو باستعمال الكمان، فإنه يكون لهذه النوتة في الأجهزة الثلاثة، ومن أجل نفس مستوى شدة الصوت، نفس التواتر ونفس السعة، لكن يكون لكل منها نبرة مختلفة تماما عن

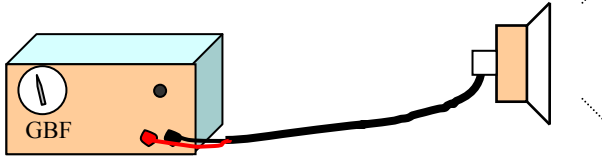
الأخرى. من بين هذه المصادر الصوتية الثلاثة يكون الصوت الأكثر نقاوة هو ذلك يصدر عن الرنان، لأنه مؤلف فقط من اهتزازات ذات تواتر 440 هيرتز تقريبا. وبالمقابل فإننا نجد بأن الصوت الصادر عن البيانو أو الكمان يتألف من اهتزازة أساسية ذات تواتر $f_0 = 440 \text{ Hz}$ تدعى **الصوت الأساسي** Fondamentale مضافا إليها اهتزازات أخرى ذات تواترات هي مضاعفات تواترات الصوت الأساسي $(2f_0, 3f_0, 4f_0, \dots)$. تسمى هذه الاهتزازات الملحقة **مدرجات الصوت** Harmoniques، أو اهتزازات توافقية، وشداتها تحدد نبرة النوتة.

1- التعرف على المجالات الصوتية:

بهدف تحديد المجالات الصوتية المسموعة وغير المسموعة نحقق التجربة الموصولة التي نستعمل فيها مولدا للتواترات المنخفضة ومكبرا للصوت.

التركيب التجريبي:

نربط مكبر الصوت بمولد التواترات المنخفضة كما هو مبين بالشكل.



التحقيق التجريبي:

نضبط تواتر الجهاز على القيمة $f = 1000 \text{ Hz}$ ثم نشغله . ماذا يمكنك سماعه ؟ بكل تأكيد سوف نسمع صوتا.

نرفع من قيمة التواتر f تدريجيا، ماذا تلاحظ ؟

نلاحظ بأن الصوت يزداد حدة كلما ارتفعت قيمة التواتر .

لكن إلى أي مدى تستمر حدة الصوت في الارتفاع؟ أو بالأحرى هل نسمع الصوت مهما كانت قيمة التواتر؟

بالفعل نلاحظ أنه بعد أن يصل التواتر إلى القيمة 20000 Hz لا تصل إلى الأذن أصوات.

هل هذا يعني بأن الصوت قد انتهى؟ بالمناسبة فكر في إعطاء تعريف علمي للصوت (هل هو مرتبط بالمدارك الحسية لأذن الإنسان أم بخصائص أخرى؟)

أضبط مرة أخرى تواتر الجهاز على القيمة $f = 1000\text{Hz}$ ، ثم اجعل هذه المرة قيمة التواتر تنخفض تدريجياً، ماذا تلاحظ؟

نلاحظ بأن الصوت يقل حدة كلما انخفضت قيمة التواتر، أو بعبارة أخرى يصبح غليظاً كلما انخفضت قيمة التواتر.

لكن إلى أي مدى يستمر انخفاض حدة الصوت ؟ أو بالأحرى هل نسمع الصوت مهما كانت خفضنا من قيمة التواتر؟

بالفعل نلاحظ أنه بعد أن يصل التواتر إلى حدود القيمة 20 Hz لا تصل إلى الأذن أصوات.

وهل يمكن أن نجزم أنه بعد قيمة التواتر هذه لا يوجد صوت يرسله مكبر الصوت؟

نستنتج مما سبق مايلي:

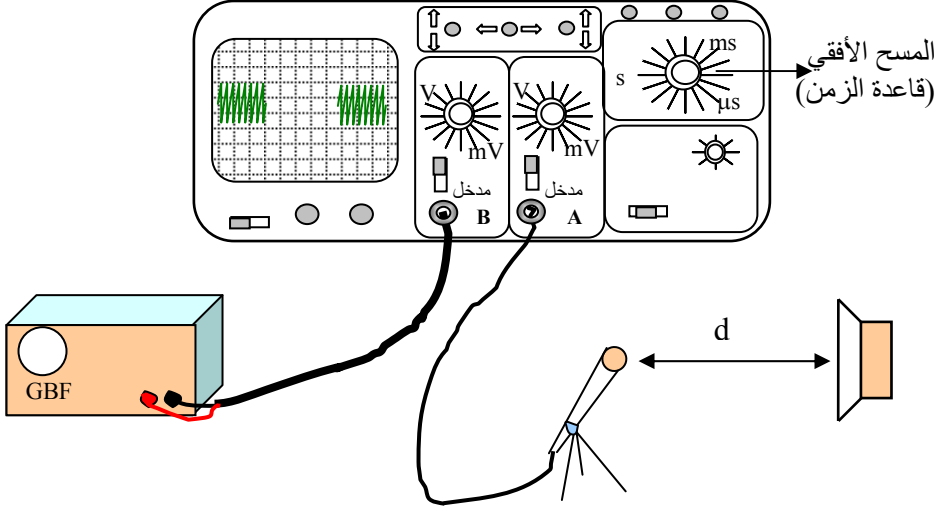
- * تتعلق حدة الصوت بتواتر الأمواج الصوتية.
- * المجال السمعي : ينحصر بين قيم التواتر : 20 هيرتز – 20000 هيرتز.
- * المجال فوق السمعي : يكون من أجل قيم التواتر الأكبر من 20000 هيرتز.
- * المجال تحت السمعي : يكون من أجل قيم التواتر الأصغر من 20 هيرتز تقريباً.

قياس سرعة الصوت في الهواء وملاحظة ظاهرة التخامد: 2-

بهدف قياس سرعة الصوت في الهواء، نقوم بإجراء تجربة نستخدم فيها مولداً للتواترات المنخفضة ومكبراً للصوت وميكروفوناً .

التركيب التجريبي:

نحقق التركيب المبين في الشكل.



التحقيق التجريبي:

نستخدم مولدا للإشارات الصوتية على شكل نبضات (إشارات صوتية متماثلة متقطعة ومتتابة) في المجال فوق السمعي.

يوصل المولد إلى جهاز راسم الاهتزاز المهبطي من مدخله B.

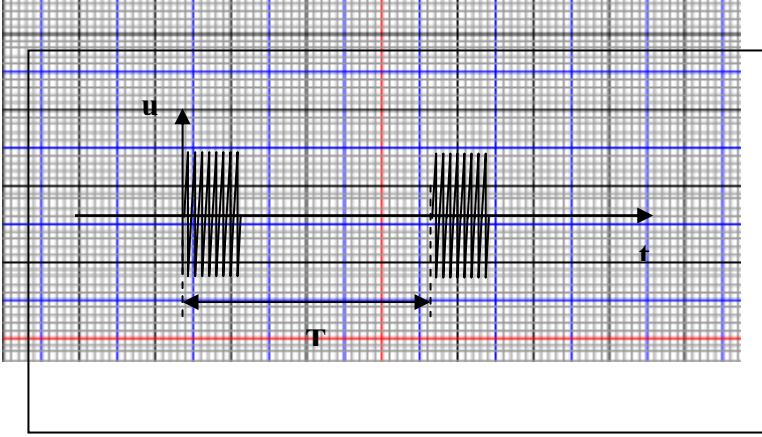
الموجة فوق الصوتية التي ينتجها المرسل هي سلسلة من النبضات مدتها t_0 ، والفاصل الزمني بين نبضتين T . هذه الموجة تنتشر في الهواء ويلتقطها

الميكروفون الذي يكون مربوطا بجهاز راسم الاهتزاز من مدخله A.

نشاهد على شاشة الجهاز الإشارة الكهربائية التي تتناسب مع سعة الإشارة الصوتية فنلاحظ إشارتين، الأولى إشارة الإرسال والثانية إشارة الاستقبال.

- يضبط المسح الزمني للجهاز عند قيمة مناسبة تجعل إشارتي الإرسال والاستقبال واضحتين وغير متداخلتين.

- تضبط كذلك المسافة d بين المرسل والمستقبل حتى نحصل على إشارتين متميزتين على الشاشة (بدون تداخل).



- من الرسمين على الشاشة يمكن قراءة الفاصل الزمني Δt الذي يمثل مدة انتشار الصوت من المرسل إلى المستقبل بمعرفة عدد المربعات التي تفصل بين الإشارتين: يقاس هذا الزمن على الأفقي، يفضل القياس من بداية إشارة النبضة حتى نتجنب الخطأ الناتج عن تشوه الإشارة الثانية الملتقطة
- بتحديد المسافة d بين المرسل والمستقبل يمكن استنتاج سرعة انتشار الإشارة الصوتية في الهواء v .
- تعاد التجربة بأخذ عدة قيم لهذه المسافة d ، مع ملاحظة ظاهرة التخماد التي تحدث للإشارة الملتقطة في حالة المسافات الكبيرة والتي ينبغي تجنبها.

تطبيق عددي :

إذا كان زر المسح الأفقي (قاعدة الزمن) مضبوطاً على القيمة 2 ميلي ثانية لكل تدریجة (2ms/div) ، أوجد ، من قراءة البيان الممثل للإشارتين في الشكل السابق سرعة الصوت في الهواء. علماً بأن قيمة المسافة d بين الميكروفون ومكبر الصوت تبلغ 4.47m.

الجواب:

نقرأ على البيان عدد التدریجات وفق المحور الأفقي (محور الأزمنة) فنجد 6.6 تدریجة.

لإيجاد الزمن المقابل لهذه التدریجات نضرب عدد التدریجات هذا في العیار، أي (2ms/div).

$$T = 2 \times 6.6 = 13.2$$

$$T = 13.2 \text{ms} = 0.0132 \text{s}$$

ومنه :

$$V = d/T = 4.47/0.0132 = 338.4$$

$$V = 338.4 \text{ m/s}$$

ملاحظة ظاهرة التخماد:

نضبط الآن زر المسح الشاقولي على نفس القيمة بالنسبة للمدخلين A و B ونبتعد بالميكروفون شيئاً فشيئاً عن مكبر الصوت وننظر إلى سعة الإشارة التي يلتقطها الميكروفون على المدخل A ، فنلاحظ بأن هذه السعة تتناقص كلما ابتعدنا عن منبع الصوت، وهذا يفسر ظاهرة التخماد التي تحدث للصوت عند انتشاره في الهواء، وهذا ما يجعلنا لا نسمع الأصوات الآتية من بعيد، أو يكون سماعنا لها رديئاً.

