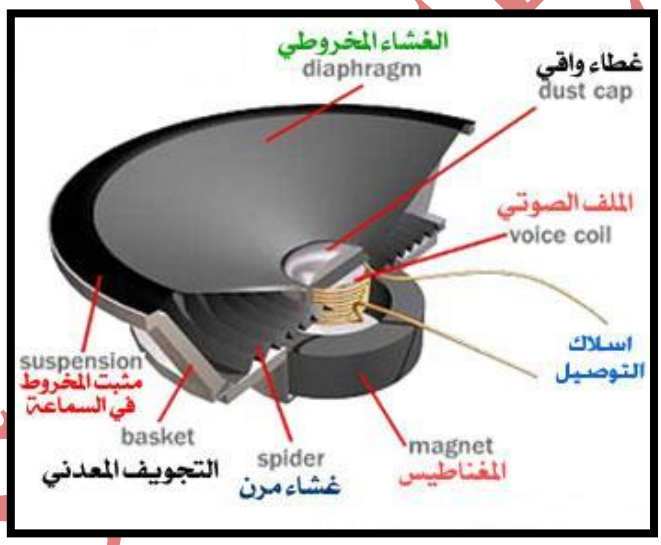
الصوت وطبيعة الصوت

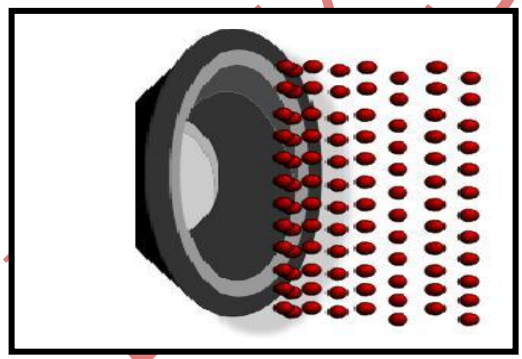
الصوت من أهم الظواهر الطبيعية التي تحدث في حياتنا في كل ثانية وربما في كل جزء من أجزاء الثانية , ونعمة السمع من أهم النعم التي وهبها لنا الخالق عز وجل ، والصوت والسمع مرتبطان ببعضهما ولا يمكن فصل أحدهما عن الآخر , ولكن هل تساءلنا يوماً : كيف ينشأ هذا الصوت ؟ وكيف نسمع الأصوات وكيف ندرك تنوعها ؟

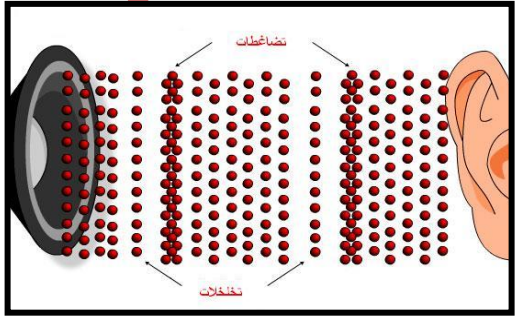
لعلك لاحظت أن أي مصدر صوتي مثل آلة العزف العود أو الجيتار حتى تنشئ صوت فإنه لابد من عمل إهتزازه في أوتارها ، وكذلك بالنسبة للمكبر الصوتي عندما ينشئ الصوت تلاحظ أن طبقة رقيقة تشبه الغشاء تقوم بالاهتزاز ، وأيضاً عندما تتحدث إلى زملائك وتقوم بوضع يدك على حنجرتك فإنك ستشعر بوجود اهتزاز داخل الحنجرة ، وهذا يعني أن أي مصدر صوتي ينتج الموجات الصوتية فإنه لابد من إنشاء اهتزاز معين , فما الذي يحدث أثناء إنتاج هذا الاهتزاز ؟؟

هذا ما سنحاول شرحه فيما يلي .....

لفهم وإدراك ما يحدث ، لنتصور لدينا جهاز المكبر الصوتي (the speaker) موضوع في الهواء الطلق ويقوم هذا الجهاز بإنتاج سلسلة من الموجات الصوتية ، وإذا ما نظرنا لهذا الجهاز من الداخل لوجدنا أنه يحتوي على غشاء مخروطي رقيق قابل للاهتزاز إلى الداخل والخارج ، كما هو واضح في الشكل أدناه :







عندما يبدأ هذا الجهاز في إنتاج الصوت وتبدأ طبقة الغشاء المخروطي في الاهتزاز إلى الأمام والخلف بتردد ثابت وعند حركتها إلى الأمام فإنها تدفع جزيئات الهواء الملامسة لها أيضاً إلى الأمام مما يؤدي إلى حدوث تصادم مرن بينها وبين جزيئات الهواء التي أمامها وتكون منطقة يكون فيها ضغط الهواء أعلى من الضغط الجوي الطبيعي بقليل جداً وتسمى هذه المنطقة تضاغط ونتيجة للتصادم تتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام وفي نفس الوقت تعود الجزيئات إلى الخلف ويصاحب ذلك عودة الغشاء الرقيق إلى الخلف فيحدث منطقة تتباعد فيها جزيئات الهواء عن بعضها البعض وتتكون منطقة يقل فيها الضغط عن الضغط الجوي وتسمى تخلخل ، وتنتقل هذه التضاغطات والتخلخلات في الهواء حول المكبر الصوتي في جميع الاتجاهات وعلى شكل موجات طولية لتصل إلى جزيئات الهواء الملامسة لطبلة أذن الإنسان فتجعلها تهتز بنفس تردد المصدر (المكبر الصوتي) فتعمل الأذن على نقل هذه الاهتزازات عبر العصب السمعي إلى الدماغ والذي يقوم بدوره بترجمة وتخزين هذه الترددات إلى الأصوات التي نسمعها .

● مما سبق نستنتج أنه حتى نحصل على الصوت لابد من توفر الشروط التالية :

1- وجود مصدر مهتز يقوم بإنتاج الموجات الصوتية (طولية).

2- وجود وسط مادي مرن يقوم بنقل الاهتزازات التي ينشئها المصدر إلى المستمع ، وهذا ما يفسر عدم قدرة رواد الفضاء في التخاطب فيما بينهم مباشرة إلا باستخدام الجهاز اللاسلكي وذلك لأن الموجات الصوتية لا يمكنها الانتقال في الفراغ فهي تحتاج إلى وسط مادي يقوم بنقل هذه الموجات .

◄ **خصائص الموجات الصوتية :**

الموجات الصوتية عبارة عن موجات ميكانيكية طولية تمتلك نفس الخصائص الموجية التي تمتلكها الموجات الميكانيكية والتي هي :

التردد – الطول الموجي – الإزاحة – سعة الموجة – الزمن الدوري – سرعة الانتشار ..... وغيرها من الخصائص الموجية.

كما ويمكن أن يحدث لها جميع الظواهر الموجية من الانعكاس (صدى الصوت) والانكسار والتداخل والحيود .

◄ **سرعة انتشار الموجات الصوتية :**

يمكن حساب سرعة انتشار الموجات الصوتية في أي وسط مثلها مثل أي موجة ميكانيكية وذلك من خلال العلاقة :

$$v = \lambda . f$$

حيث أن :

f يمثل تردد الموجات الصوتية أو تردد مصدرها ويقاس بوحدة الهيرتز Hz أو s^{-1} .

λ يمثل الطول الموجي للموجات الصوتية ويقاس بوحدة المتر m .

إلا أنه وكما ذكرنا سابقاً فإن الموجات الصوتية تحتاج إلى وسط مادي مرن يقوم بنقل هذه الموجات الصوتية وبالتالي فإنه لابد وأن تتأثر سرعة انتشار الموجات الصوتية بخصائص هذا الوسط فقد أثبتت الدراسات أن سرعة الموجات الصوتية في أي وسط مادي تعتمد على :

- نوع الوسط (الكثافة ، المرونة)
- درجة حرارة الوسط .

● **نوع الوسط :**

لكل وسط مادي له خصائص محددة من الكثافة الحجمية وكذلك المرونة وسرعة الموجات الصوتية تتأثر بهذه العوامل أو الخصائص فكلما كان الوسط أكثر مرونة وأكثر كثافة كلما زادت سرعة الموجات الصوتية فيه والعكس صحيح ، وكما نعلم تم تقسيم المواد (الأوساط) حسب هذه الخصائص إلى ثلاثة أنواع وهي مرتبة تنازلياً من الاكثر كثافة ومرونة إلى الأقل كما يلي:

- ♦ مواد صلبة .
- ♦ مواد سائلة .
- ♦ مواد غازية .

وبما أن المواد الصلبة هي في المجمل العام الأكثر كثافة ومرونة تليها المواد السائلة ثم اخيراً المواد الغازية ، فإنه يمكننا القول:

$$v_{\text{الصلبة}} > v_{\text{السائلة}} > v_{\text{الغازية}}$$

● **درجة حرارة الوسط :**

تتأثر سرعة الصوت بدرجة حرارة الوسط حيث أن بزيادة درجة الحرارة تزداد طاقة حركة الجزيئات مما يساعد على نقل الموجات الصوتية بصورة أسرع وقد أثبتت التجارب أنه عندما تزداد درجة حرارة الوسط الناقل بمقدار $1°C$ فإن سرعة الصوت في الوسط تزداد بمقدار $0.6\ m/s$ ، فمثلاً في الهواء وجد أن سرعة الصوت فيه عند درجة حرارة $0°C$ تساوي $331\ m/s$ وبالتالي فإنه إذا ارتفعت درجة حرارة الهواء إلى $1°C$ فإن سرعة الصوت سوف تصبح $(331 + 0.6) m/s$

PHYSICS GENIUS

وإذا أصبحت درجة الحرارة $2°C$ فإن سرعة الصوت سوف تصبح $(331 + 0.6 + 0.6)\ m/s$ ، وإذا ما أصبحت درجة الحرارة $3°C$ سوف تصبح سرعة الصوت $(331 + 0.6 + 0.6 + 0.6)\ m/s$ ..... وهكذا .

ومما سبق يمكن كتابة المقدار $331 + 0.6$ كما يلي : $331 + 1 \times 0.6$

والمقدار $331 + 0.6 + 0.6$ كما يلي : $331 + 2 \times 0.6$

والمقدار $331 + 0.6 + 0.6 + 0.6$ كما يلي : $331 + 3 \times 0.6$ ..... إلخ

ومنها نجد أن :

331 تمثل سرعة الصوت في الهواء عند درجة $0°C$

والمقادير 1 ، 2 ، 3 تمثل درجات الحرارة

ومنها نستطيع القول أن سرعة الصوت في الهواء عند أي درجة حرارة يمكن إيجادها من خلال العلاقة :

$v = 331 + 0.6T$ عند أي درجة حرارة

حيث أن :

T تمثل درجة حرارة الهواء بوحدة الدرجة سيليزية .

فمثلاً سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة $20°C$ تساوي :

$$v = 331 + (0.6 \times 20) = 343\ m/s$$

ويمكن تطبيق هذه العلاقة عند جميع الأوساط المادية وبصورة عامة يمكن القول أن :

$$v = v_o + 0.6T$$

حيث أن :

v_o تمثل سرعة الصوت في الوسط سواءً كان صلب أو سائل أو غاز عند درجة حرارة $0°C$

T تمثل درجة حرارة الهواء بوحدة الدرجة سيليزية .

* مثال :

أوجد سرعة الصوت في الماء عند درجة حرارة $50°C$

الحل :

سرعة الصوت في الماء عند $0°C$ تساوي $1493\ m/s$ (أنظر الجداول 4-1 في الكتاب المدرسي صفحة 127)

وبالتالي فإن سرعة الصوت في الماء عند $50°C$ تساوي :

$$v = 1493 + (0.6 \times 50) = 1523\ m/s$$

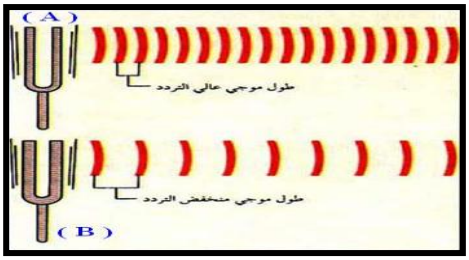
◄ درجة الصوت :

تمتاز أذن الإنسان الطبيعي بقدرتها على التمييز بين الأصوات من حيث حدتها وغلظتها وتعرف هذه الخاصية بدرجة الصوت وتعتمد أذن الإنسان على التمييز بين الأصوات في هذه الخاصية على ترددها فالأصوات الأكثر تردداً تكون أكثر حدة وأقل غلظة والأصوات الأقل تردداً تكون الأكثر غلظة والأقل حدة ، ويمكن تعريف درجة الصوت بأنها :

((الخاصية التي تستطيع أذن الإنسان الطبيعي من خلالها التمييز بين الأصوات من حيث الحدة والغلظة عن طريق ترددها))

وهنا نجد أن درجة الصوت مرتبطة بتردده لذلك عندما يطلب منا إيجاد درجة الصوت فهذا يعني أن يطلب منا إيجاد تردده ومن خلال التردد نستطيع المقارنة والتمييز بين صوت وآخر ، فمثلاً عندما يقال أن (صوت المرأة أكثر حدة من صوت الرجل) فإننا ندرك مباشرةً أن تردد الصوت الصادر من المرأة أعلى تردداً من الصوت الصادر من الرجل .

PHYSICS GENIUS

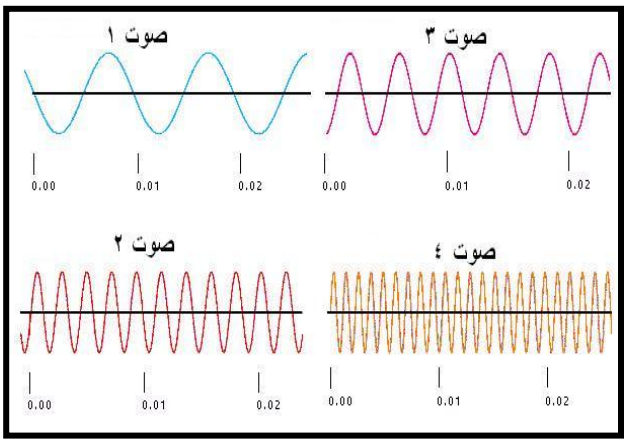


ولنستوعب أكثر ، الشكل المقابل يوضح شوكتان رنانتان مختلفتا التردد ، وعند التمعن نجد أن:

الشوكة (A) أعلى تردداً من الشوكة (B) لذلك نستطيع القول أن :

♦ الصوت الصادر من الشوكة (A) أكثر حدة من الصوت الصادر من الشوكة (B).

♦ الصوت الصادر من الشوكة (B) أكثر غلظة من الصوت الصادر من الشوكة (A).



لنأخذ مثالاً آخر:

ادرس الشكل المقابل ، ثم رتب الأصوات تصاعدياً من حيث الحدة .

الحل :

صوت 1 ← صوت 3 ← صوت 2 ← صوت 4

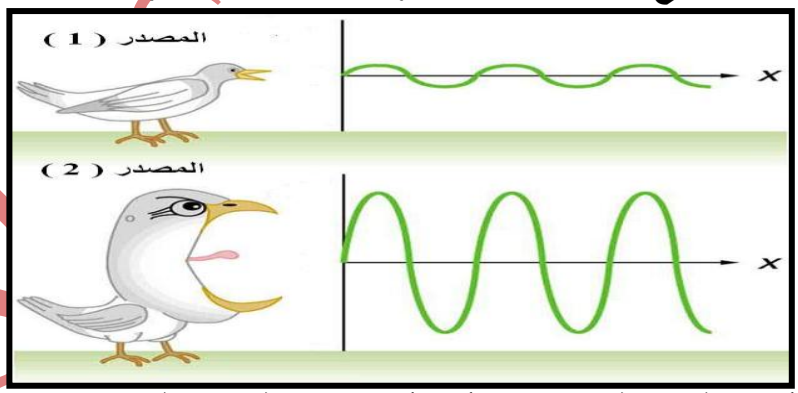
أي أن الصوت 4 هو أكثر الأصوات حدة وأقلها غلظة .

والصوت 1 أو أقل الأصوات حدة وأكثرها غلظة .

◄ شدة الصوت :

تعرف شدة الصوت بأنها الخاصية التي تستطيع أذن الإنسان الطبيعي من خلالها التمييز بين الأصوات من حيث العلو والانخفاض وتعتمد على الطاقة التي تحملها الموجة الصوتية وبالتالي فهي تعتمد على سعة الموجة .

فمثلاً في الشكل أدناه يوضح مصدرين صوتيين لهما نفس التردد ولكنهما مختلفان في سعة الموجة :



في هذا الشكل أن سعة موجة الصوت الأول أقل من سعة الموجة الصوت الثاني وبالتالي نستنتج أن شدة الصوت الثاني أعلى من شدة الصوت الأول والعكس صحيح .

*** حساب شدة الصوت :**

يمكن تعريف شدة الصوت أيضاً بأنها معدل الطاقة التي تحملها الموجة عبر وحدة المساحة العمودية على اتجاه انتشارها

يرمز لشدة الصوت رياضيا بالرمز (I) ومنها يمكن ترجمة هذا التعريف إلى معادلة رياضية كما يلي :

$$I = \frac{E}{A.t}$$

وكما نعلم أن معدل الطاقة التي تحملها الموجة يعرف بالقدرة ويرمز لها بالرمز (P) فإن :

$$I = \frac{P}{A}$$

PHYSICS GENIUS

حيث أن :

$$P = \frac{E}{t}$$

وحدة قياس القدرة هي الواط ($Watt$) وتكافؤها الجول \ الثانية (J/s)
ومنها نستنتج أن وحدة قياس شدة الصوت هي الواط \ المتر مربع ($Watt/m^2$) وتكافؤها الجول \ الثانية× المترمربع($J/s.m^2$) .

◄ مستوى شدة الصوت :

أذن الإنسان الطبيعي لا تستطيع سماع جميع الأصوات بمختلف شدتها فهي لها حدود معينة للسماع ، وأقل شدة صوت يمكن لأذن الإنسان الطبيعي سماعها هي $1 \times 10^{-12} W/m^2$
ويرمز لها بالرمز (I_o) ومن خلال هذه القيمة نستطيع مقارنة شدة الأصوات ببعضها البعض وعدد مضاعفات مقدار شدة صوتٌ ما بالنسبة لهذه القيمة يعرف بمستوى شدة الصوت ويرمز له رياضياً بالرمز(B) ويقاس بوحدة البيل (Bel) نسبة إلى العالم جراهام بيل مخترع الهاتف فمثلاً إذا علمنا أن مستوى شدة صوت عند نقطة معينة هو $7\ Bel$ فهذا يعني أن شدة الصوت عند هذه النقطة أكبر بمقدار 7 مضاعفات من أقل قيمة لشدة الصوت (I_o) .... وهكذا.
إلا أن وحدة البيل (Bel) تعتبر وحدة كبيرة مقارنة بمقدار مستوى شدة الصوت المسموعة وبالتالي فقد تم اشتقاق وحدة أخرى للتعبير عن مستوى شدة الصوت وهي وحدة الديسيبل (dB) وهي تساوي $\frac{1}{10}$ بالنسبة لقيمة البيل (Bel) حيث أن :

$$1\ Bel = 10\ dB$$

أي أن إذا كان مستوى شدة صوت ما هي $5Bel$ فإنها سوف تساوي $50dB$

* حساب مستوى شدة الصوت :

يستخدم التدريج اللوغاريتمي لحساب مستوى شدة الصوت كما يلي :

$$B\ (dB) = 10\ log \frac{I}{I_o}$$

حيث أن :
I تمثل شدة الصوت المراد حساب مستوى شدته .
I_o تمثل أقل قيمة لشدة الصوت يمكن سماعها .

وبالتالي إذا أردنا معرفة أدنى قيمة لمستوى شدة الصوت يمكن لأذن الإنسان سماعها فبكل بساطة نعوض عن مقدار I بمقدار $I_o = 1 \times 10^{-12} W/m^2$ في قانون حساب مستوى شدة الصوت كما يلي :

$$B\ (dB) = 10\ log \frac{1 \times 10^{-12}}{1 \times 10^{-12}} = 0\ dB$$

أي أن أقل قيمة لمستوى شدة الصوت التي يمكن سماعها هي $0dB$ وتعرف بعتبة السمع أو الحد الحرج للسماع.
في المقابل فإن أعلى قيمة لشدة الصوت والتي يمكن لأذن الإنسان الطبيعي تحملها هي $I_{max} = 1\ W/m^2$ وعندها فإن أعلى مستوى شدة صوت يمكن تحملها تكون :

$$B\ (dB) = 10\ log \frac{1}{1 \times 10^{-12}} = 120\ dB$$

وتعرف هذه القيمة بعتبة الألم أو الحد الأعلى للسماع أي أن أي مستوى شدة صوت أعلى من هذه القيمة قد يتسبب بالألم للأذن وربما مشاكل في السمع بعد ذلك .

PHYSICS GENIUS

وبالتالي نستنتج أن حدود السمع بالنسبة للإنسان الطبيعي تتراوح بين $0dB$ و $120dB$.

وكذلك نستنتج أنه يمكن استنتاج مقدار شدة صوت ما فقط بمعلومية مستوى شدة الصوت له كما يلي :
اذا كان لدينا صوت مستوى شدته عند نقطةٍ هو 70dB فإن مقدار شدته يساوي :

$$B\,(dB) = 10\,log\frac{I}{I_o}$$

$$70\,dB = 10\,Log\frac{I}{I_o}$$

$$\therefore log\,\frac{I}{I_o} = \frac{70}{10}$$

$$log\,\frac{I}{I_o} = 7$$

ومنها :

$$\frac{I}{I_o} = shift\,log\,7$$

$$\frac{I}{I_o} = 1\times10^{7}$$

$$\therefore I = (1\times10^{7})I_o$$

$$I = (1\times10^{7})\times(1\times10^{-12})$$

$$\therefore I = 1\times10^{-5}W/m^2$$

وبصورة عامة فإنه يمكننا القول أن :

$$I = \left[shift\,log\left(\frac{B(dB)}{10}\right)\right]I_o$$

♦ **استنتاج :**

إذا كان مستوى شدة الصوت لصوت شدته I_1 هو B_1 ومستوى شدة الصوت لصوت آخر شدته I_2 هو B_2 عند موضع معين فإن:

$$B_2 - B_1 = 10log\frac{I_2}{I_o} - 10log\frac{I_1}{I_o}$$

$$B_2 - B_1 = 10\left[log\frac{I_2}{I_o} - log\frac{I_1}{I_o}\right]$$

من قوانين اللوغاريتمات :

$$log\frac{x}{y} = logx - logy$$

فإن :

$$B_2 - B_1 = 10\left[log\frac{\frac{I_2}{I_o}}{\frac{I_1}{I_o}}\right]$$

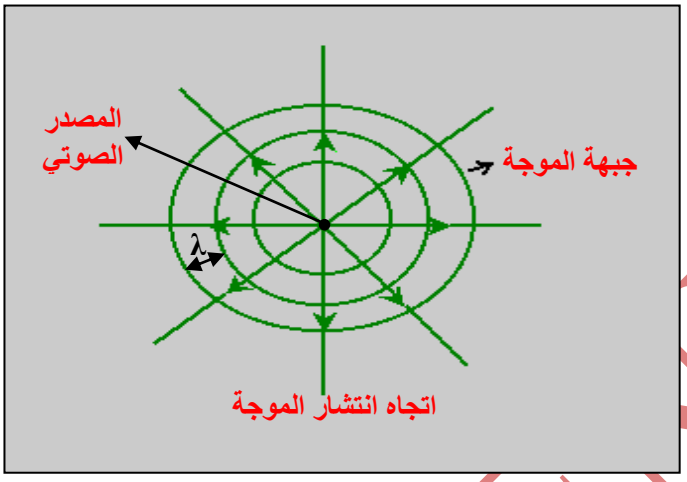
إذاً نحصل على :

$$\boxed{B_2 - B_1 = 10\left[log\frac{I_2}{I_1}\right]} \quad \boxed{1}$$

PHYSICS GENIUS

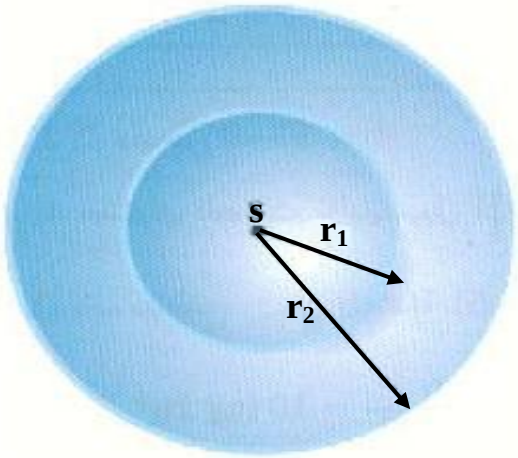
◄ الموجات الكروية :

تنتشر الموجات الصوتية مبتعدة حول المصدر الصوتي على هيئة سلسلة من التضاغطات والتخلخلات في جميع الاتجاهات وبالتالي فلو أمكننا رؤية هذه الموجات لوجدناها تكون على شكل كرة بالنسبة للمصدر الصوتي ويكون المصدر الصوتي هو مركز هذه الكرات المنتشرة ويمكن تمثيل الموجات الكروية على هيئة أقواس دائرية مركزها المصدر كما في الشكل أدناه :



كل قوس من الأقواس أو كل حلقة من الحلقات تمثل جبهة الموجة المنتشرة حول المصدر والمسافة بين الأقواس متساوية إذا كان الوسط متجانساً وتساوي الطول الموجي للموجات المنتشرة (λ) .

هذه الموجات الكروية تنتشر حاملة معها الطاقة الصوتية والطاقة التي تحملها كل كرة تساوي مقدار الطاقة التي تحملها الكرات الأخرى أي أن الطاقة تتوزع على جميع المساحات بالتساوي فمثلا في الشكل أدناه :



نجد أن الكرة الأولى والتي نصف قطرها (r_1) سوف تتوزع فيها الطاقة الصوتية في مساحة تساوي $4\pi r_1^2$ (مساحة الكرة) ، وبالتالي فإن هذا المقدار من الطاقة نفسه سوف يتوزع على الكرة الثانية التي نصف قطرها (r_2) والتي تبلغ مساحتها $4\pi r_2^2$ ، ومن هنا نجد أن الطاقة الصوتية سوف تتوزع على مساحة أصغر في الكرة الأولى بينما على مساحة أكبر في الكرة الثانية ، وكما نعلم أن :

$$I = \frac{P}{A}$$

وبما أن :

$$P = \frac{E}{t}$$

وبما أن الطاقة الصوتية (E) تتوزع على المساحات بالتساوي فإن القدرة (P) سوف تتوزع أيضاً على المساحات بالتساوي ، أي أن القدرة سوف تكون مقدار ثابت عند جميع المساحات بالنسبة للمصدر الواحد .

وبالتعويض عن المساحة (A) بمساحة الكرة نحصل على :

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

PHYSICS GENIUS

ومن هنا نجد أن :

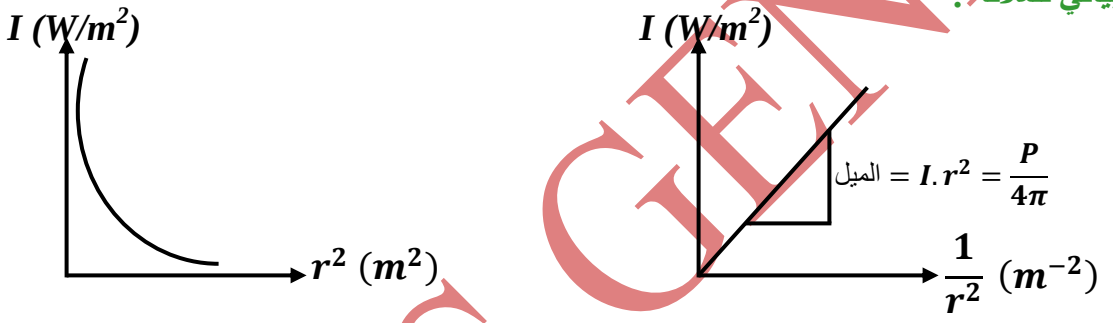
$$I \propto \frac{1}{r^2}$$

نستنتج أن شدة الصوت التي تتوزع على الكرة الأولى سوف تكون أكبر من شدة الصوت التي تتوزع على الكرة الثانية ، فلو كان لدينا شخصان وكان الشخص الأول يقف على بعد يساوي نصف قطر كرة الأولى والشخص الثاني يقف على بعد يساوي نصف قطر الكرة الثانية من المصدر الصوتي فإن شدة الصوت بالنسبة للشخص الأول سوف تكون أعلى من شدة الصوت بالنسبة للشخص الثاني .... وهكذا فإن شدة الصوت تتناسب عكسياً مع مربع البعد عن المصدر الصوتي.

وبصورة عامة نستنتج أن :
شدة الصوت التي تصل إلى مستمع يقف على بعد (r) من المصدر الصوتي تعتمد على بعده عن المصدر وكلما ابتعد هذا المستمع عن المصدر كلما قلت شدة الصوت والعكس صحيح ، ومنها يمكن القول:

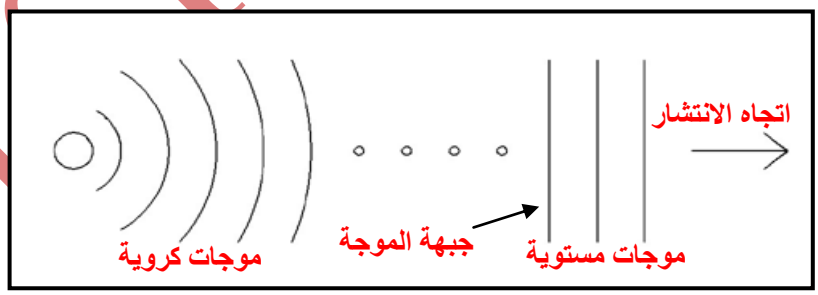
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

* التمثيل البياني للعلاقة :



◄ **الموجات المستوية :**

لو افترضنا أنه من الممكن مشاهدة الموجات الصوتية الكروية بالعين المجردة بالنسبة لمستمع يقف على بعد معين من المصدر الصوتي فإنه ومما نجد أنه كلما ابتعد المستمع عن المصدر الصوتي كلما يزداد نصف قطر تكور هذه الموجات ، وهذا يعني أن مقدار تقوس جبهة هذه الموجات بالنسبة للمستمع سوف يقل تدريجياً ، وبالتالي فإنه وعند مسافات بعيدة عن المصدر سوف تبدو جبهات الموجات الكروية وكأنها عبارة عن جبهات مستقيمة ومتوازية كما يلي :



وتعرف هذه الموجات في هذه الحالة بالموجات المستوية

PHYSICS GENIUS

◄ ظاهرة دوبلر :

لعلك لاحظت انه عندما تتحرك سيارة إسعاف مقتربة منك بسرعة ثم تتخطاك مبتعدة عنك أثناء وقوفك في مكان ما على الطريق أن صوت صفارتها يسلك سلوكاً غريباً نوعاً ما فتجد أن صوت الصفارة يزداد حدة كلما اقتربت السيارة منك وكلما ابتعدت فإن حدته تقل ويصبح أغلظ من السابق ؟!!

تغير نوع الصوت بالنسبة لك بين الحدة والغلظة يبين لك وكما درسنا سابقاً أن تردد الصوت المسموع يتغير بالنسبة لك وهذت يعني أنه عند اقتراب سيارة الإسعاف منك تردد الصوت المسموع يزداد وعند ابتعادها تردد الصوت المسموع يقل بالرغم من أن التردد الحقيقي للصوت المنبعث من صفارة سيارة الإسعاف لم يتغير !!

وقد يحدث العكس أيضاً ، أي قد تكون سيارة الإسعاف واقفة وكنت أنت تقترب منها بسرعة ثم تبتعد عنها سوف تستنتج نفس الملاحظات التي لاحظتها في الحالة السابقة ، وهذا يعني أن تردد الصوت المسموع يتغير عند حركة المصدر الصوتي بالنسبة للمستمع أو حركة المستمع بالنسبة للمصدر الصوتي ، وتعرف هذه الظاهرة بإسم ظاهرة دوبلر وذلك نسبة إلى مكتشفها العالم الفيزيائي النمساوي كريستان دوبلر وهي تحدث لجميع أنواع الموجات سواءً كانت الموجات الميكانيكية أو الكهرومغناطيسية ،وبالنسبة للموجات الصوتية يمكن تعريفها بأنها ((تغير تردد الصوت المسموع نتيجة للحركة النسبية بين المصدر والمستمع بالرغم من عدم تغير التردد الحقيقي للمصدر)) .

ومن هنا نجد أن تردد الصوت الذي يصل إلى أذن المستمع لا يمثل التردد الحقيقي للصوت الصادر من المصدر ويسمى بالتردد الظاهري وقد يكون هذا التردد أكبر من التردد الحقيقي فتزداد حدة الصوت المسموع وقد يكون أقل فتقل حدة الصوت المسموع .

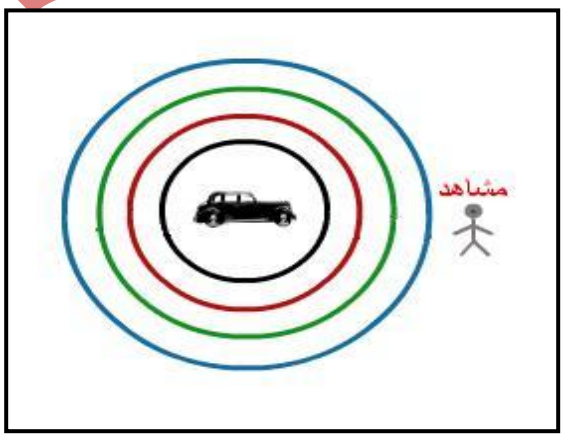
مما سبق نستنتج أن ظاهرة دوبلر تعتمد على حركة كلاً من :

- حركة المصدر الصوتي .
- حركة المستمع والذي سنسميه لاحقاً بالمشاهد على افتراض أنه يمكن رؤية الموجات الصوتية بالعين المجردة .
- ويمكن إضافة أيضاً حركة الوسط الناقل .

ولنفهم ما يحدث في ظاهرة دوبلر لندرس أولاً كل حركة من الحركات السابقة :

♦ أولاً حركة المصدر :

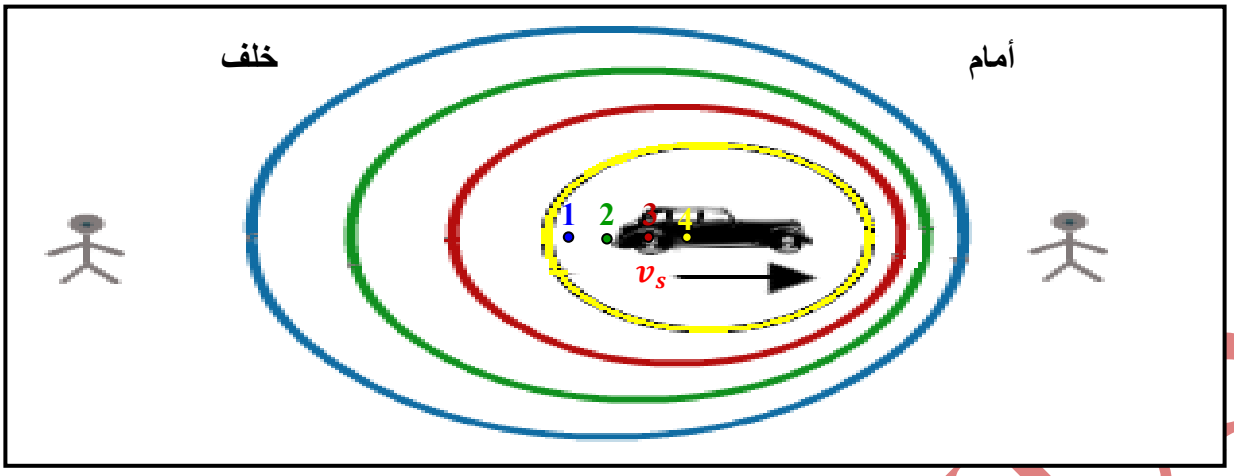
نعلم أن الموجات الصوتية تنتشر حول المصدر في جميع الاتجاهات وتكون على شكل موجات كروية ويتم تمثيلها على هيئة حلقات دائرية متحدة المركز ومركزها المصدر نفسه ، وعندما يكون المصدر ساكناً تكون الحلقات على الشكل التالي:



في هذه الحالة تكون المسافة بين الجبهات متساوية في جميع الإتجاهات أي أن الطول الموجي متساوي في جميع الاتجاهات وهو نفسه الطول الموجي الحقيقي (λ) للمصدر الصوتي (السيارة) وهنا الموجات الصوتية سوف تصل إلى أذن المشاهد الذي يقف أمام السيارة بنفس طولها الموجي الحقيقي أي بنفس ترددها الحقيقي (f).

لنفترض الآن أن المصدر قد بدأ بالحركة في اتجاه المشاهد بسرعة مقدارها v_s كما في الشكل أدناه :

PHYSICS GENIUS

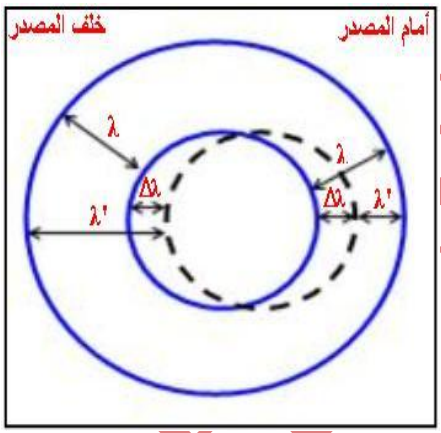


مما يؤدي إلى جعل الجبهات أمام المصدر تتحرك إلى الأمام في نفس اتجاه حركة المصدر ويؤدي ذلك إلى جعل الجبهات أمام المصدر تتقارب من بعضها بمسافة تساوي المسافة التي سيتحركها المصدر خلال فترة زمنية تعادل الزمن الدوري الحقيقي للموجات الصوتية (T) فبالنسبة للحلقة التي باللون الأزرق فهي الموجة الناتجة عن المصدر عندما كان المصدر عند الموضع (1) والحلقة التي باللون الأخضر فهي الحلقة الناتجة عن المصدر عندما كان عند الموضع (2) والحلقة التي باللون الأحمر فهي الموجة الناتجة عن المصدر عندما كان عند الموضع (3) والحلقة التي باللون الأصفر هي الموجة الناتجة عن المصدر عندما كان عند الموضع (4) ..... وهكذا

وهنا نجد أن الحلقات نتيجة لهذه الحركة تتقارب من بعضها البعض أمام المصدر وتتباعد عن بعضها خلفه وبالتالي فإن الموجات الصوتية سوف تصل للمشاهد الذي يقف أمام المصدر بطول موجي غير حقيقي (ظاهري) أقل من الطول الموجي الحقيقي أي بتردد ظاهري أعلى من التردد الحقيقي للمصدر ، أما بالنسبة للمشاهد الذي يقف خلف المصدر سوف تصله الموجات الصوتية بطول موجي ظاهري أعلى من الطول الموجي الحقيقي وبتردد ظاهري أقل من التردد الحقيقي .

ومما سبق إذا رمزنا للطول الموجي الظاهري بالرمز (λ') والطول الموجي الحقيقي بالرمز (λ) فإننا نستنتج ما يلي :

* أمام المصدر :



كما يتضح من الشكل المقابل ، إذا رمزنا للفرق بين الطول الموجي والحقيقي والطول الموجي الظاهري بالرمز ($\Delta\lambda$) فإن :

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$$

وعندها يمكن حساب الطول الموجي الظاهري كما يلي :

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda \quad \text{>>>> 1}$$

ومن الشكل أن المقدار ($\Delta\lambda$) يمثل المسافة التي تحركها المصدر خلال فترة زمنية تعادل الزمن الدوري للموجات الصوتية الصادرة ، وكما نعلم أن :

$$v = \frac{x}{t}$$

$$\therefore v_s = \frac{\Delta\lambda}{T}$$

ومن العلاقة :

$$f = \frac{1}{T}$$

نستنتج أن :

$$v_s = \Delta\lambda . f$$

$$\therefore \Delta\lambda = \frac{v_s}{f}$$

وكما نعلم أيضاً :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

PHYSICS GENIUS

حيث أن :

λ تمثل الطول الموجي الحقيقي للصوت.

v تمثل سرعة الصوت في الوسط .

f تمثل التردد الحقيقي للصوت .

وبالتعويض عن قيم $\Delta\lambda$ و λ في المعادلة (1) نحصل على :

$$\lambda' = \frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}$$

$$\therefore \lambda' = \frac{v - v_s}{f} \quad \ggg 2$$

* خلف المصدر:

وبنفس الطريقة ، بالنظر في الشكل أعلاه ، نجد أن :

$$\lambda' = \lambda + \Delta\lambda$$

$$\therefore \lambda' = \frac{v}{f} + \frac{v_s}{f}$$

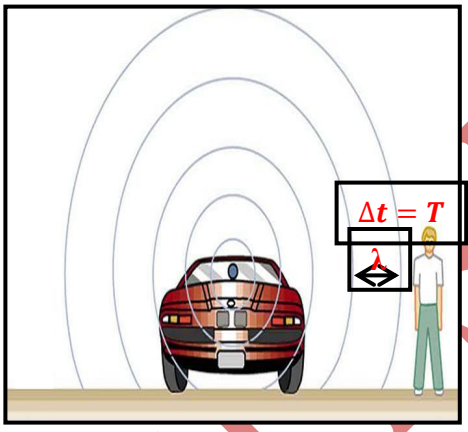
$$\therefore \lambda' = \frac{v + v_s}{f} \quad \ggg 3$$

وبمقارنة المعادلتين (1) و (2) يمكن القول أن :

$$\lambda' = \frac{v \pm v_s}{f} \quad \ggg 4$$

ومنها نستنتج أن :

حركة المصدر الصوتي تؤثر فقط في الطول الموجي للصوت ولا تؤثر في سرعة الصوت .

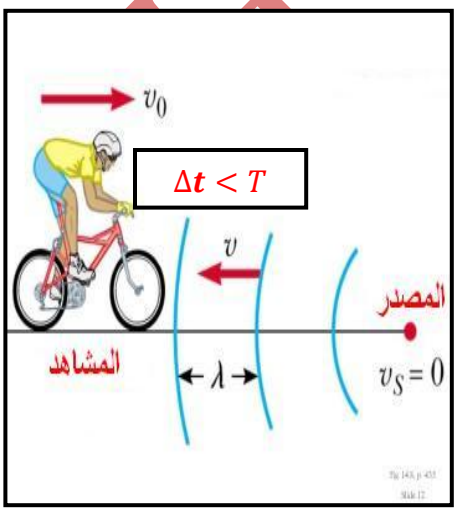


♦ حركة المشاهد (المستمع) :

لنفترض وجود مصدر صوتي ساكن يقوم بإطلاق موجات صوتية باتجاه مشاهد ما ، كما يوضح الشكل المقابل ، فإذا كان المشاهد ساكناً فإن جبهة الموجات الصوتية سوف تصل إلى المشاهد خلال فترة زمنية ثابتة وتساوي الزمن الدوري للموجات الصوتية (T) أي أنه على سبيل المثال إذا كانت الجبهة الأول تصل إلى المشاهد عند زمن ($t = 0$) وبعد فترة زمنية ($\Delta t = T$) سوف تصل الجبهة التي تليها ، وبعد فترة زمنية ($\Delta t = T$) سوف تصل الجبهة التي تليها ,,,, وهكذا .

فإذا بدأ المشاهد في الحركة وكان :

* المشاهد يقترب من المصدر :



كما يوضحه الشكل المقابل ، فإنه عند زمن ($t = 0$) سوف تصل الجبهة الأولى إلى المشاهد وبدأ المشاهد في الحركة بسرعة مقدارها (v_o) مقترباً من المصدر عند نفس اللحظة فإنه عند فترة زمنية مقدارها أصغر من الزمن الدوري للموجات الصوتية ($\Delta t < T$) سوف تصل الجبهة الثانية ، فإذا كان المشاهد يتحرك بسرعة ثابتة فإن جبهات الموجات سوف تصل إليه خلال فترات زمنية ثابتة ولكن مقدارها أقل من الزمن الدوري الحقيقي للموجات الصوتية وهنا سوف تبدو الموجات الصوتية بالنسبة للمشاهد وكأن سرعتها قد ازدادت ولكن في الحقيقة سرعة الموجات الصوتية لم تتغير ولكن الذي جعل المشاهد يشعر بزيادة سرعة الموجات الصوتية هي حركته باتجاه الموجات الصوتية فتصل إليه بصورة أسرع مما كانت عليه وهو ساكن ، أي أن سرعة الصوت بالنسبة للمشاهد سوف تزداد وأن السبب في زيادتها هي حركته وأن سرعة الموجات التي يقيسها المشاهد لا تمثل السرعة الحقيقية للموجات الصوتية وإنما هي السرعة الظاهرية للموجات الصوتية ، وأن مقدار الزيادة في سرعة الموجات الصوتية يمثل مقدار سرعة المشاهد نفسه.

PHYSICS GENIUS

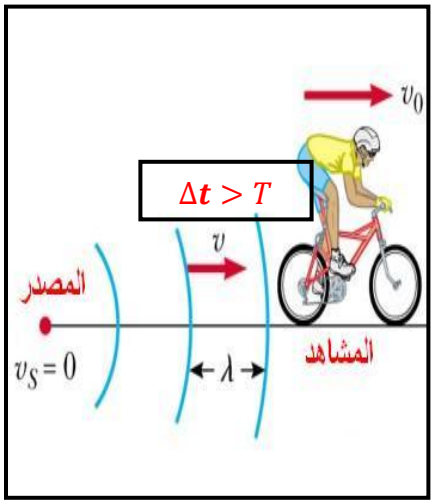
فإذا رمزنا للسرعة الظاهرية التي يقيسها المشاهد للموجات الصوتية بالرمز (v') فإن مقدارها سوف يكون :

$$v' = v + v_o \quad \gg\gg 5$$

حيث أن :

v تمثل السرعة الحقيقية للموجات الصوتية .

* المشاهد يبتعد المصدر :



بنفس الطريقة في حالة اقتراب المشاهد من المصدر ، فإنه عند زمن ($t = 0$) عند وصول الجبهة الأولى إلى المشاهد بدأ المشاهد في الحركة مبتعداً عن المصدر بسرعة مقدارها (v_o) ، فإن الجبهة الثانية للموجات الصوتية سوف تصل إلى المشاهد في فترة زمنية مقدارها أكبر من الزمن الدوري للموجات الصوتية ($\Delta t > T$) وعندها سوف تبدو سرعة الموجات الصوتية بالنسبة المشاهد أقل من سرعتها الحقيقية وأن السرعة التي يقيسها المشاهد لا تمثل السرعة الحقيقية للموجات الصوتية وإنما هي السرعة الظاهرية وأن مقدار النقص في السرعة سببه هو سرعة المشاهد نفسه ويكون مقدار السرعة الظاهرية مساوياً :

$$v' = v - v_o \quad \gg\gg 6$$

وعند مقارنة المعادلتين (5) و (6) نستنتج أن :

$$v' = v \pm v_o \quad \gg\gg 7$$

♦ حساب التردد الظاهري :

من خلال دراستنا للحركة الموجية ، نعلم أن :

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

نجد أن تردد الموجات الصوتية يعتمد على سرعة الموجات الصوتية وطولها الموجي ، ومنها إذا رمزنا للتردد الظاهري بالرمز (f') فيمكننا استنتاج أن التردد الظاهري يعتمد على :

- السرعة الظاهرية للموجات الصوتية (v')
- الطول الموجي الظاهري للموجات الصوتية (λ')

ومنها نستطيع القول أن :

$$f' = \frac{v'}{\lambda'}$$

وبالتعويض عن قيم (v') و (λ') من المعادلتين (7) و (4) نحصل على :

$$f' = \frac{v \pm v_o}{\frac{v \pm v_s}{f}}$$

$$\therefore f' = \left[\frac{v \pm v_o}{v \pm v_s}\right] f$$

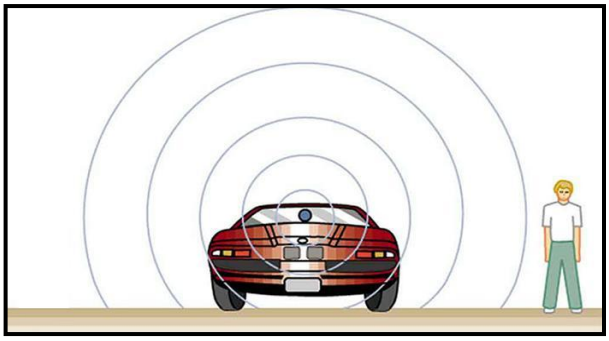
وهذه هي المعادلة العامة لحساب التردد الظاهري للموجات الصوتية في ظاهرة دوبلر ، وعند استخدام هذه المعادلة ينبغي مراعاة ما يلي :

1- إذا كان المشاهد ساكناً فإن سرعة المشاهد تساوي صفر($v_o = 0$).
2- إذا كان المصدر ساكناً فإن سرعة المصدر تساوي صفر($v_s = 0$).
3- إذا كان المشاهد متحركاً وكان :
   - المشاهد يقترب من المصدر فإننا نعوض عن مقدار (v_o) بالموجب.
   - المشاهد يبتعد عن المصدر فإننا نعوض عن مقدار (v_o) بالسالب.
4- إذا كان المصدر متحركاً وكان :
   - المصدر يقترب من المشاهد فإننا نعوض عن مقدار (v_s) بالسالب.
   - المصدر يبتعد عن المشاهد فإننا نعوض عن مقدار (v_s) بالموجب.

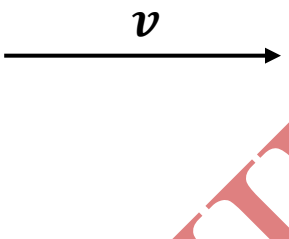
PHYSICS GENIUS

♦ الحالات المتعلقة بظاهرة دوبلر :

قبل أن ندرس الحالات التي يمكن ملاحظتها في ظاهرة دوبلر ، لنتفق على أن نرمز للمصدر الصوتي بالرمز (S) والمشاهد بالرمز (O) وسرعة الصوت في الهواء بالرمز (v) وسرعة المشاهد بالرمز (v_o) وسرعة المصدر بالرمز (v_s) . عند دراسة أي حالة نقوم بتمثيل هذه الحالة بالرسم بحيث نمثل المصدر بنقطة والمشاهد بنقطة وأن نجعل دائماً سرعة الصوت تتجه من المصدر إلى المشاهد في جميع الحالات ، كما يلي :



● أولا: المصدر والمشاهد ساكنان :



وبالتطبيق في المعادلة العامة أعلاه ، نحصل على :

$$f' = \left[\frac{v \pm 0}{v \pm 0}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{v}{v}\right] f$$

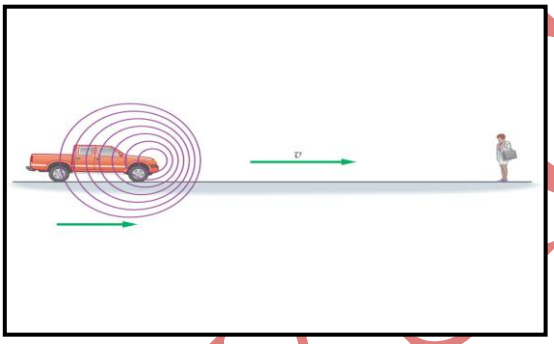
$$f' = f$$

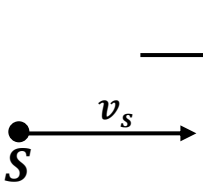
وبالتالي نستنتج أن : التردد المسموع (f') يساوي التردد الحقيقي (f) .

● ثانياً: المصدر متحرك والمشاهد ساكن :

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المصدر يقترب من المشاهد الساكن :





بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v \pm 0}{v - v_s}\right] f$$

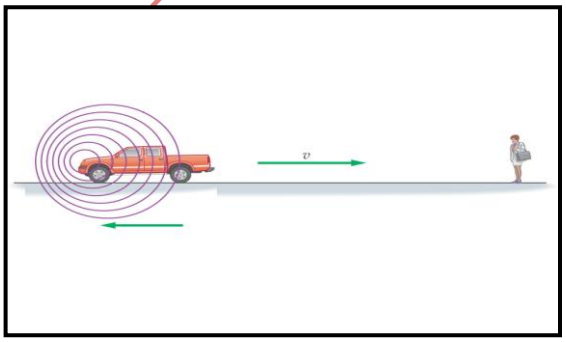
$$f' = \left[\frac{v}{v - v_s}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أكبر من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أكبر من الواحد ، ومنها نستنتج أن أي قيمة أكبر من الواحد مضروبة في التردد الحقيقي (f) فإن المحصلة تكون دائماً أكبر من (f) أي أن :

$$f' > f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أكثر حدة .

2- المصدر يبتعد عن المشاهد الساكن :



PHYSICS GENIUS

بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v \pm 0}{v + v_s}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{v}{v + v_s}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أصغر من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أصغر من الواحد ، ومنها نستنتج أن أي قيمة أصغر من الواحد مضروبة في التردد الحقيقي (f) فإن المحصلة تكون دائماً أصغر من (f) أي أن :

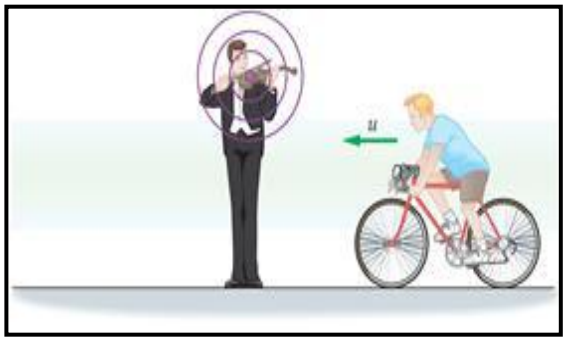
$$f' < f$$

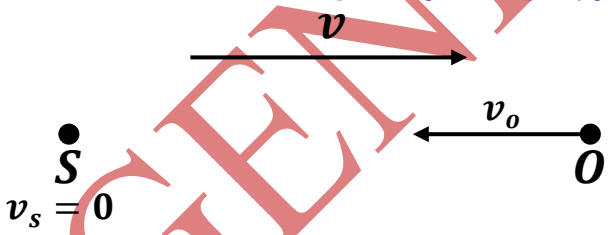
وبالتالي فإن الصوت يصبح أقل حدة .

● **ثالثاً: المصدر ساكن والمشاهد متحرك :**

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المشاهد يقترب من المصدر الساكن :





بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v \pm 0}\right] f$$

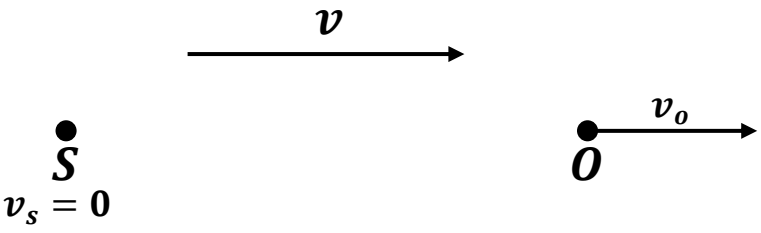
$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أكبر من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أكبر من الواحد ، ومنها نستنتج أن :

$$f' > f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أكثر حدة .

2- المشاهد يبتعد عن المصدر الساكن :



بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v \pm 0}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أقل من المقام ، وبالتالي فإن المحصلة بين القوسين دائماً تكون أقل من الواحد ، ومنها نستنتج أن :

$$f' < f$$

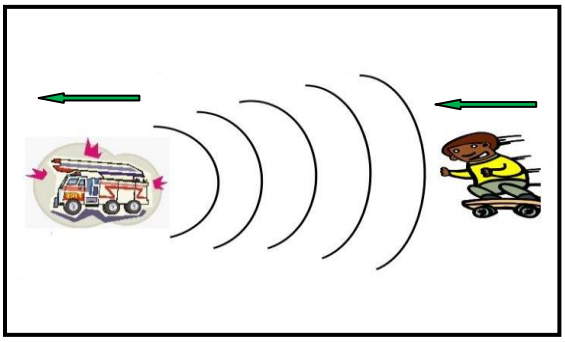
وبالتالي فإن الصوت يصبح أقل حدة .

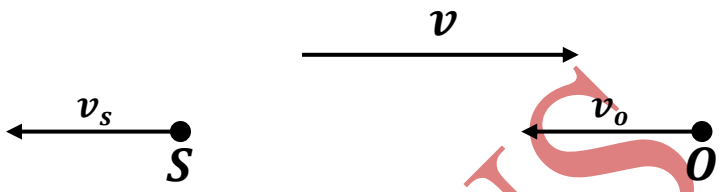
PHYSICS GENIUS

● رابعاً: المصدر والمشاهد متحركان في نفس الاتجاه :

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المصدر المتحرك أمام المشاهد المتحرك :





بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v + v_s}\right] f$$

وهنا نجد أنه إذا كان :

■ سرعة المشاهد أكبر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o > v_s$$

يكون البسط أكبر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' > f$$

أي أن الصوت يصبح أكثر حدة .

■ سرعة المشاهد أصغر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o < v_s$$

يكون البسط أصغر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' < f$$

أي أن الصوت يصبح أقل حدة .

■ سرعة المشاهد تساوي سرعة المصدر فإن:

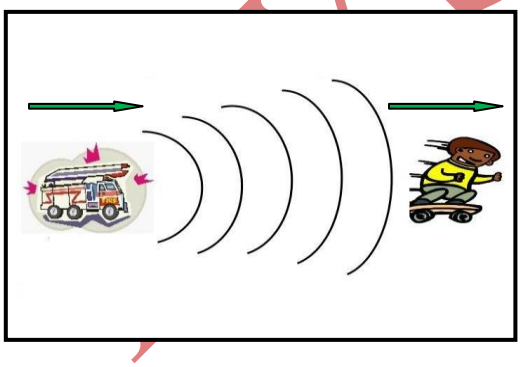
$$v_o = v_s$$

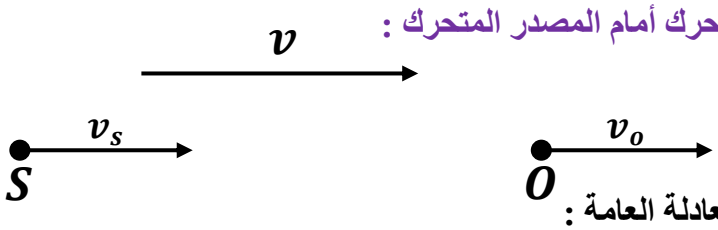
يكون البسط مساوياً للمقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' = f$$

أي لا يحدث تغير في التردد الحقيقي وفي درجة الصوت .

2- المشاهد المتحرك أمام المصدر المتحرك :





بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v - v_s}\right] f$$

وهنا نجد أنه إذا كان :

وهنا نجد أنه إذا كان :

■ سرعة المشاهد أكبر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o > v_s$$

يكون البسط أصغر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' < f$$

أي أن الصوت يصبح أقل حدة .

PHYSICS GENIUS

■ سرعة المشاهد أصغر من سرعة المصدر فإن:

$$v_o < v_s$$

يكون البسط أكبر من المقام وبالتالي نستنتج أن :

$$f' > f$$

أي أن الصوت يصبح أكثر حدة .

■ سرعة المشاهد تساوي سرعة المصدر فإن:

$$v_o = v_s$$

يكون البسط مساوياً للمقام وبالتالي نستنتج أن :

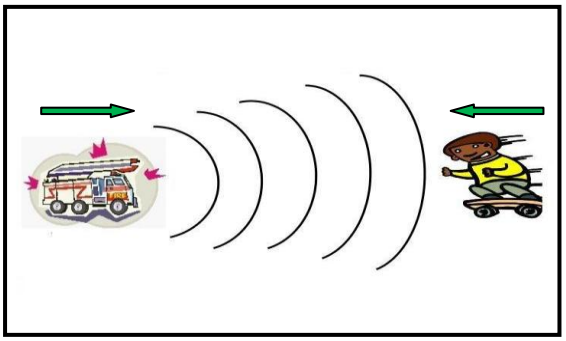
$$f' = f$$

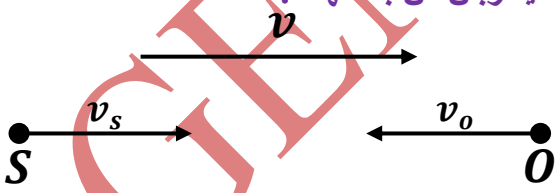
أي لا يحدث تغير في التردد الحقيقي وفي درجة الصوت .

● **خامساً: المصدر والمشاهد يتحركان في اتجاهين متعاكسين :**

هذه الحالة تتضمن حالتين ، وهما :

1- المصدر والمشاهد يقتربان من بعضهما :





بالتطبيق في المعادلة العامة :

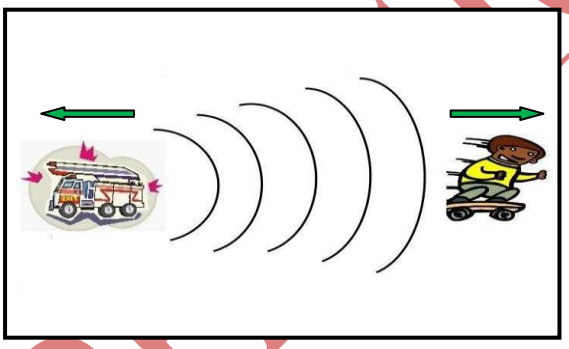
$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v - v_s}\right] f$$

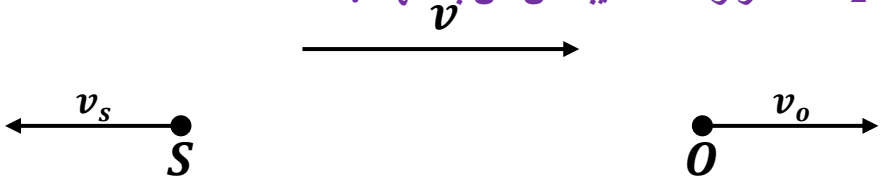
هنا نجد أن البسط دائماً أكبر من المقام ، ومنها نستنتج أن :

$$f' > f$$

وبالتالي فإن الصوت يصبح أكثر حدة .

2- المصدر والمشاهد يبتعدان عن بعضهما :





بالتطبيق في المعادلة العامة :

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v + v_s}\right] f$$

هنا نجد أن البسط دائماً أصغر من المقام ، ومنها نستنتج أن :

$$f' < f$$

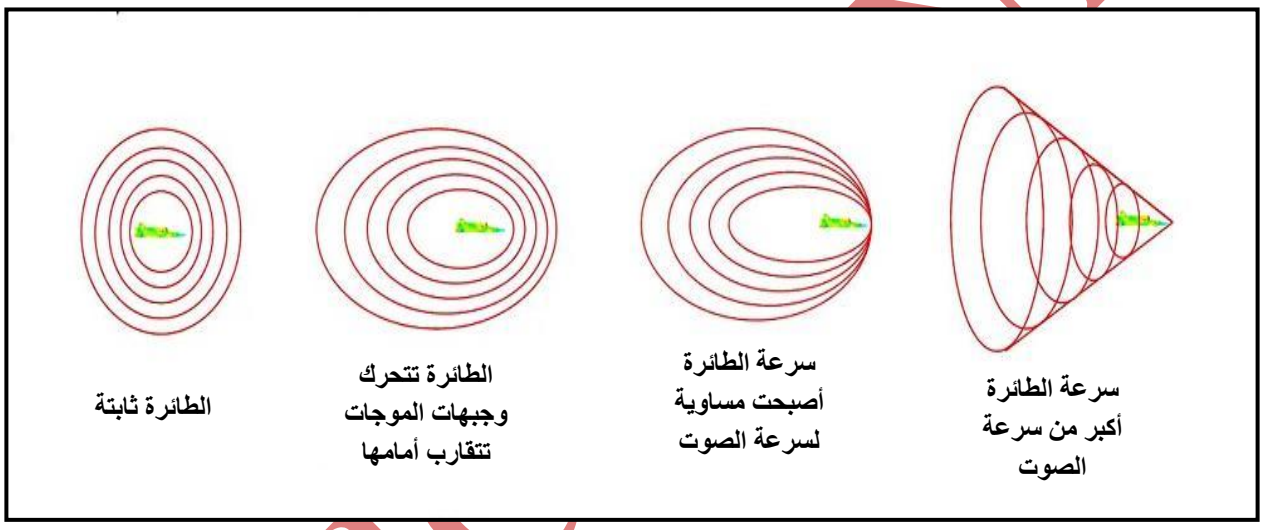
وبالتالي فإن الصوت يصبح أقل حدة .

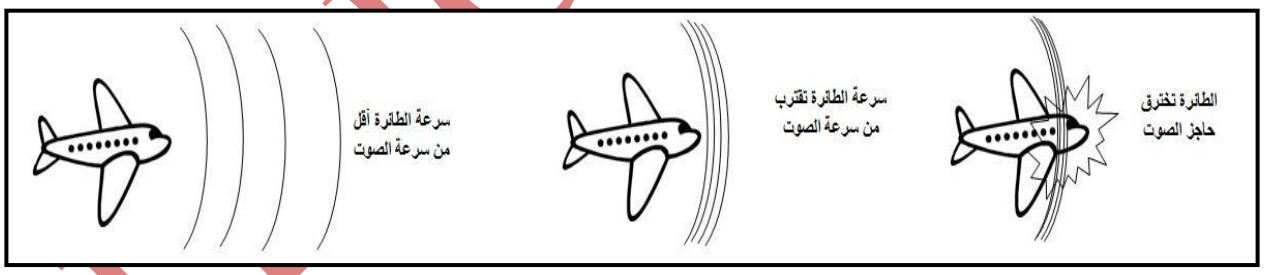
* فيما سبق جميع الحالات التي من الممكن أن يكون عليها المصدر والمشاهد بالنسبة لبعضهما والتي تؤثر على تردد الصوت المسموع بالنسبة للمشاهد .

PHYSICS GENIUS

◄ حاجز الصوت :

لاحظنا ومن خلال دراستنا لظاهرة دوبلر أن جبهة الموجات الصوتية تتقارب من بعضها البعض أمام المصدر المتحرك وأن مقدر التقارب يعتمد على سرعة المصدر نفسه مما يؤدي إلى زيادة تردد الموجات الصوتية المسموعة وزيادة اهتزاز جزيئات الهواء حول موضع اتزانها ، وهذا يعني أنه كلما زادت سرعة المصدر كلما تقاربت الجبهات من بعضها أكثر وأكثر وإذا ما أصبحت سرعة المصدر مساوية لسرعة الصوت فإن جبهات الموجات الصوتية تتداخل مع بعضها البعض لتبدو وكأنها جبهة واحدة ويكون الطول الموجي عندها تقريباً مساوياً للصفر ويكون التردد عندها عالياً جداً جداً ، هذا التقارب الكبير جداً بين الجبهات يعني أن جزيئات الهواء أيضاً هي الأخرى أصبحت متقاربة جداً بين بعضها البعض مما يؤدي إلى زيادة كثافة الهواء أمام المصدر فيؤدي إلى تكون طبقة دخانية تشبه الغيم أمام المصدر هذه الطبقة تشكل مثل الحاجز أمام المصدر ويطلق عليها بحاجز الصوت ، وإذا ما زاد المصدر من سرعته لتصبح أكبر من سرعة الصوت فإنه سوف يؤدي إلى اختراق هذا الحاجز وعند الاختراق يُسمع صوت دويّ هاائل ، وعندها تصبح الموجات الصوتية خلف المصدر أي أن المصدر يصبح متقدماً عن الموجات الصادرة منه ، والشكل المقابل يوضح هذه العملية :





◄ الرنين في الأعمدة الهوائية :

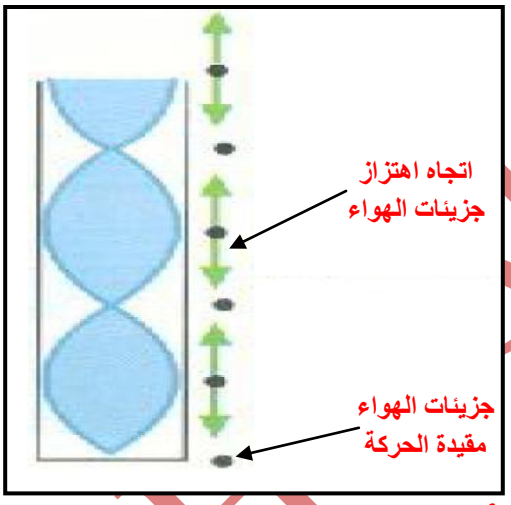
لكل وسط ناقل للموجات تردد خاص به يعرف بالتردد الطبيعي للوسط الناقل وهو يعتمد على الخصائص الميكانيكية لهذا الوسط ، وإذا ما أثر مصدر مهتز على هذا الوسط وكان تردد المصدر مساوياً للتردد الطبيعي لهذا الوسط عندها تكون سعة الاهتزازة أكبر ما يمكن ، ويحدث ما يسمى بظاهرة الرنين .

هذه الظاهرة يمكن أن تحدث في الموجات الصوتية فيما يعرف بالرنين في الأعمدة الهوائية ، فالعمود الهوائي هو عبارة عن أنبوب مجوف من الداخل يحتوي على جزيئات الهواء وقد يكون هذا الأنبوب مفتوح من طرفين وقد يكون مفتوح من طرف واحد فقط ، وموضوع دراستنا سوف يكون حول العمود الهوائي المفتوح من طرف واحد فقط.

تحدث ظاهرة الرنين في العمود الهوائي عندما يكون تردد المصدر الصوتي وقد يكون شوكة رنانة أو أي مصدر صوتي آخر مساوياً للتردد الطبيعي لجزئيات الهواء بداخل العمود الهوائي مما يؤدي إلى حدوث تضخم للصوت الصادر من المصدر ، فكيف يحدث ذلك ؟

الشكل المقابل يوضح تجربة توضح حدوث ظاهرة الرنين في العمود الهوائي المفتوح من طرف واحد فقط .

عند تقريب طرف الشوكة الرنانة من فوهة العمود الهوائي فإنها تؤثر على جزيئات الهواء عند الفوهة ويجعلها تهتز مما يؤدي إلى تكون موجات طولية تنتقل من أعلى العمود الهوائي إلى الطرف المغلق ، وعندما تصل إلى الطرف المغلق للعمود فإنها سوف تصطدم به مما يؤدي إلى انعكاسها فيتكون داخل العمود قطار من الموجات الطولية الساقطة وقطار من الموجات الطولية المنعكسة فتتداخل الموجات مع بعضها مما يؤدي إلى تكون موجات موقوفة تتكون من عقد وبطون داخل العمود الهوائي وتتكون عقدة دائماً عند الطرف المغلق للعمود الهوائي وذلك لأن جزيئات الهواء عنده تكون مقيدة الحركة وغير قابلة للاهتزاز حول موضع اتزانها ، ويحدث الرنين عندما تصبح سعة الموجة الموقوفة أكبر ما يمكن عند فوهة العمود ولا يحدث ذلك إلا إذا تكون بطن عند فوهة العمود وعندها تكون شدة الصوت الصادر من الشوكة الرنانة أعلى ما يمكن ، وبالتالي فإن هذه الظاهرة يمكن أن تتكرر في العمود الهوائي عند أطوال مختلفة كلما تكون بطن عند فوهة العمود الهوائي .



وعندها فإن أقصر طول للعمود الهوائي يمكن أن يحدث عنده الرنين يحدث عندما يتكون أول بطن عند فوهة العمود.

♦ إذا افترضنا أن طول العمود الهوائي قابل للتغيير وتردد الشوكة الرنانة ثابت فإن:

- أقصر طول للعمود الهوائي يحدث عنده الرنين عندما يكون طول العمود مساوياً ($\frac{\lambda}{4}$) ما يتضح في الشكل المقابل ، وعندها يسمى الرنين في هذه الحالة بالرنين الأول أو بالنغمة الأساسية .

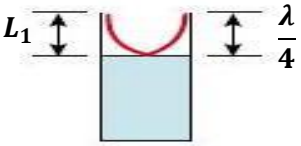
- عند زيادة الطول تدريجياً فإنه سوف يحدث رنين عندما يتكون البطن الثاني عند فوهة العمود الهوائي ويكون طول العمود الهوائي مساوياً ($3\frac{\lambda}{4}$) ويسمى عندها الرنين بالرنين الثاني أو بالنغمة التوافقية الأولى.

- بنفس الطريقة ، عند زيادة طول العمود تدريجياً فإنه سوف يحدث رنين مرة أخرى عندما يتكون البطن الثالث عند فوهة العمود الهوائي ويكون طول العمود مساوياً ($5\frac{\lambda}{4}$) ويسمى عندها الرنين بالرنين الثالث أو بالنغمة التوافقية الثانية .

- و عند زيادة طول العمود تدريجياً فإنه سوف يحدث رنين مرة أخرى عندما يتكون البطن الرابع عند فوهة العمود الهوائي ويكون طول العمود مساوياً ($7\frac{\lambda}{4}$) ويسمى عندها الرنين بالرنين الرابع أو بالنغمة التوافقية الثالثة ..... وهكذا.

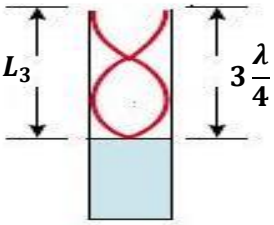
ويوضح الشكل أدناه ذلك :

PHYSICS GENIUS



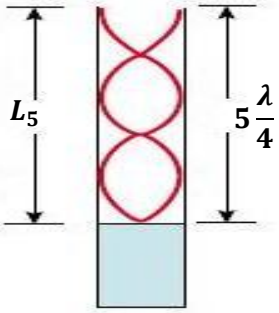
الرنين الأول

النغمة الأساسية



الرنين الثاني

النغمة التوافقية الأولى



الرنين الثالث

النغمة التوافقية الثانية

من الشكل نحصل على :

$$L_1 = \frac{\lambda}{4} \ , L_3 = 3\frac{\lambda}{4} \ , \ L_5 = 5\frac{\lambda}{4}$$ وهكذا ... ...

وبصورة عامة نستنتج أن :

$$L_n = n\frac{\lambda}{4} \quad \gg\gg\gg 1$$

حيث أن :

$n = 1, 3, 5, 7, 9, \ldots \ldots \ldots, \infty$ (رتبة الرنين)

ـ مما سبق إذا حسبنا الفرق في الطول بين كل رنين متتاليين سنجد ما يلي :

$$L_3 - L_1 = 3\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4} = (3-1)\frac{\lambda}{4} = 2\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$$

أو :

$$L_5 - L_3 = 5\frac{\lambda}{4} - 3\frac{\lambda}{4} = (5-3)\frac{\lambda}{4} = 2\frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$$

ومنها نستنتج أن :

إذا كان m و n رنينين متتاليين وكانت رتبة $m > n$ فإن :

$$L_m - L_n = \frac{\lambda}{2}$$

PHYSICS GEN

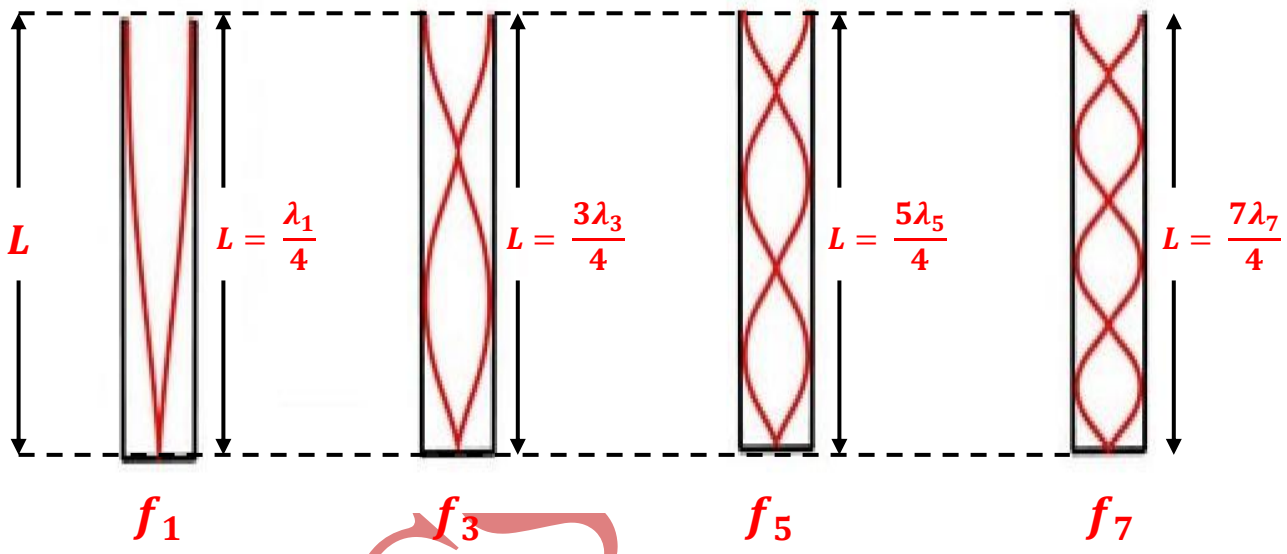
♦ أما إذا افترضنا أن طول العمود الهوائي ثابت وكان تردد الشوكة الرنانة قابل للتغيير فإن:

- أقل تردد يحدث عنده الرنين في العمود الهوائي هو الذي يؤدي إلى تكون موجة موقوفة تتكون من بطن عند الطرف المغلق للعمود الهوائي وبطن عند فوهة العمود ويسمى بالتردد الأساسي ويرمز له بالرمز (f_1) .

- عند زيادة تردد الشوكة تدريجياً فإنه لن يحدث رنين إلا عند تكون موجة موقوفة داخل العمود الهوائي تتكون من عقدتين وبطنين ،ويسمى هذا التردد بالتردد التوافقي الأول ويرمز له بالرمز (f_3)

- وبنفس الطريقة عند زيادة التردد تدريجيا لن يحدث رنين أيضاً في العمود الهوائي إلا إذا تكونت موجة موقوفة بداخله تتكون من ثلاث عقد وثلاثة بطون, ويسمى هذا التردد بالتردد التوافقي الثاني ويرمز له بالرمز (f_5) ،،،،،، وهكذا .

والشكل أدناه يوضح ذلك :



ومن الشكل نستنتج أن :

$$L = \frac{n\lambda_n}{4}$$

ومنها فإن :

$$\lambda_n = \frac{4L}{n}$$

حيث أن :

$n = 1, 3, 5, 7, 9, 11, \ldots\ldots\ldots, \infty$ (رتبة الرنين)

نعلم أن :

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$\therefore f_n = \frac{v}{\lambda_n}$$

وبالتعويض عن مقدار (λ_n) نحصل على :

$$f_n = \frac{v}{\frac{4L}{n}}$$

$$\therefore f_n = \frac{nv}{4L}$$

PHYSICS

وبالتالي فإن التردد الأساسي الذي يحدث عنده الرنين يكون :

$$f_1 = \frac{v}{4L}$$

ويكون التردد التوافقي الأول :

$$f_3 = \frac{3v}{4L} = 3f_1$$

ويكون التردد التوافقي الثاني :

$$f_5 = \frac{5v}{4L} = 5f_1$$

,,,,,,, وهكذا ، ومنها يمكن القول أن :

$$f_n = nf_1$$

ومنها نستنتج أن :

تردد الشوكة الرنانة يتناسب طردياً مع رتبة الرنين :

$$f_n \, \alpha \, n$$

وبالتالي ، إذا كان لدينا تردد توافقي رتبته (m):

$$f_m = mf_1$$

وتردد توافقي آخر رتبته (n) :

$$f_n = nf_1$$

فإن :

$$\frac{f_m}{f_n} = \frac{mf_1}{nf_1}$$

$$\therefore \frac{f_m}{f_n} = \frac{m}{n}$$

PHYSICS GENIUS

◄ التقانات التي تعتمد على الموجات فوق الصوتية :

تستطيع أذن الإنسان الطبيعي سماع الأصوات التي يتراوح ترددها بين (20 Hz) و (20 KHz) وبالتالي فإن الإنسان لا يستطيع سماع الأصوات التي يقل ترددها عن (20 Hz) والتي يزيد ترددها عن (20 KHz) والموجات الصوت التي يكون ترددها أقل من (20 Hz) تسمى بالموجات تحت الصوتية أما الموجات التي يزيد ترددها عن (20 KHz) فتسمى بالموجات فوق الصوتية وهذه الموجات تحمل جميع الخصائص الفيزيائية التي تحملها الموجات الصوتية المسموعة .
للموجات فوق الصوتية استخدامات عديدة ومن أهمها :

* جهاز الموجات فوق الصوتية :

يستخدم هذا الجهاز في الطب بصورة كبيرة فهو يساعد على تشخيص الأمراض والكشف عنها وكذلك في علاجها ويمتاز جهاز الموجات فوق الصوتية عن جهاز التصوير بالأشعة السينية في أنه :

- غير ضار .
- يستطيع التمييز بين الأنسجة اللينة والسوائل .
- يستطيع التمييز بين الكيس المائي والورم .

يعتمد مبدأ عمل جهاز الموجات فوق الصوتية على ظاهرة إنعكاس الموجات و ظاهرة دوبلر وآلية عمل هذا الجهاز نلخصها في العمليات التالية :

1- الإرسال : يحتوي جهاز الموجات فوق الصوتية على مجس يقوم بإرسال الموجات فوق الصوتية والتي يتراوح ترددها بين (1-5 MHz) على هيئة نبضات إلى العضو أو الجهاز المراد فحصه .

2- الانعكاس : تستطيع الموجات فوق الصوتية اختراق جسم الإنسان وأعضاؤه وعند انتقالها بين الحدود والفواصل بين الأعضاء فإن جزءً منها ينفذ من خلال العضو والآخر ينعكس ليصل إلى المجس أما الجزء الآخر من النبضات يستمر إلى أجزاء أعمق في جسم الإنسان لتصل إلى حدود فاصل أخرى وينعكس جزءً منها عائداً إلى المجس والباقي ينفذ وهكذا .

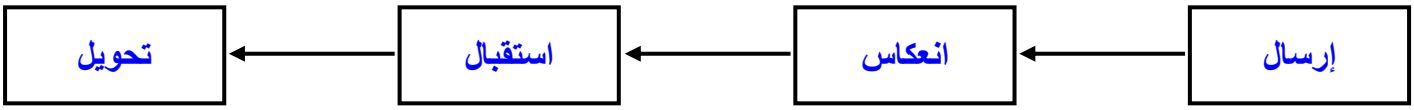
3- الإستقبال : يقوم المجس باستقبال النبضات المنكسة تباعاً ويقوم بعد ذلك بحساب المسافة بينه وبين العضو الذي انعكست عنه النبضات من خلال معرفة الفترة الزمنية التي استغرقتها ذهاباً وعودة والتي يجب أن لا تزيد عن ($10^{-6}s$) ومعرفة سرعة الصوت في جسم الإنسان والتي تبلغ تقريباً (1540 m/s) .

4- التحويل : يقوم المجس بتحويل النبضات الصوتية إلى أشارات كهربائية وتكوين توزيع ثنائي الأبعاد لهذه الإشارات وتحويلها إلى صورة للعضو المراد فحصه .

قد يستخدم جهاز الموجات فوق الصوتية ظاهرة دوبلر في قياس سرعة سريان الدم داخل جسم الإنسان وقياس معدل نبضات القلب وغيرها .

* جهاز السونار :

فكرة عمل جهاز السونار تشبه تماماً فكرة عمل جهاز الموجات فوق الصوتية , وهي أيضاً تعتمد على ظاهرة دوبلر وانعكاس الموجات وآلية عمله هي نفسها آلية عمل جهاز الموجات فوق الصوتية وهي تتلخص في :



PHYSICS GENIUS

ومن أهم استخدامات جهاز السونار هي :

- حساب عمق مياه البحار والمحيطات .
- الكشف عن السفن والأجسام في قاع البحار والمحيطات.
- تجنب الحيود الصخرية التي قد تصيب الضرر بالسفن والغواصات .
- تتبع حركة الأجسام في قاع البحار والمحيطات .

*** الرادار :**

فكرة ومبدأ آلية عمل الرادار هي نفسها بالضبط بالنسبة لجهاز الموجات فوق الصوتية والسونار ، ومن أهم استخداماته هي :

- تعقب حركة الطائرات وتوجيهها أثناء رحلاتها وأثناء الإقلاع والهبوط .
- ضبط سرعة السيارات في حدود السرعة القانونية المسموح بها .
- يستخدم لرسم خرائط الكواكب ومراقبة مسارات الأقمار الصناعية .
- معرفة الأحوال الجوية .
- في المعارك الحربية وتوجيه القذائف والصواريخ .

ولكن نظراً لأن الموجات فوق الصوتية مداها قصير جداً بحيث لا يتعدى (*2Km*) فإنه يفضل استخدام الرادارات التي تعتمد على نوع من الموجات الكهرومغناطيسية (الراديو) بدلاً عن الرادارات التي تعتمد على الموجات فوق الصوتية .

PHYSICS GENIUS