

انعكاس الصوت

يعرف انعكاس الصوت بأنه ارتداد الموجات الصوتية نتيجة لاصطدامها بسطح عاكس تحت زاوية معينة طبقاً لقانون الانعكاس المعروفة عن الضوء. وعندما تكون زاوية السقوط عمودية على السطح العاكس، ترتد الموجة على نفسها (حيث تتساوى زاوية السقوط وزاوية الانعكاس) ويعرف ذلك بصدى الصوت، وهو تكرار سماع الصوت الناشئ عن انعكاس الصوت الأصلي. ويستوجب ذلك أن تكون الفترة الزمنية بينهما $(1/10)\text{sec}$ على الأقل لكي تشعر الأذن البشرية بصدى الصوت.

عندما تقابل الموجات الصوتية وسطاً ثابتاً أكثر كثافة من الوسط الأول الذي كانت تتحرك فيه فإنها تغير اتجاهها وتنعكس إلى الوسط الأول وبنفس الوقت فإنها تعاني تغيراً في الطور. قوانين انعكاس الموجات الصوتية نفس قوانين الموجات الضوئية شدة الموجة المنعكسة تعتمد على شدة الموجة الساقطة وزاوية السقوط وطبيعة السطح العاكس. إن خاصية انعكاس الصوت تلعب دوراً مهماً في العديد من الظواهر المألوفة مثل الصدى والرنجمة الموسيقية المسموعة عند وضع محارة قبل الأذن. لحدوث الانعكاس يجب أن يتوفر أحد الشرطين

١- أن يكون التردد عالي أي طول الموجة قصير

٢- أن يكون أبعاد السطح العاكس كبير إذا كان الطول الموجي كبير .

تداخل الموجات الصوتية

يعتبر تداخل الموجات الصوتية ظاهرة فيزيائية مشابهة لتداخل الموجات المستعرضة، فعندما تلتقي موجتان صوتيتان أو أكثر عند نقطة ما فإن الموجة الصوتية الناتجة تساوي مجموع الموجات المختلفة. نفرض موجتين صوتيتين تنبعثان من مصدرين صوتيين وتهتزان بنفس الطور كما كوضح بالشكل (٢-٤) لذا يمكن كتابة المعادلة

$$\phi = \frac{\Delta d}{\lambda} 2\pi$$

حيث Δd هو فرق المسار .

وتخضع الموجات الصوتية للتداخل البناء والتداخل التالفي :

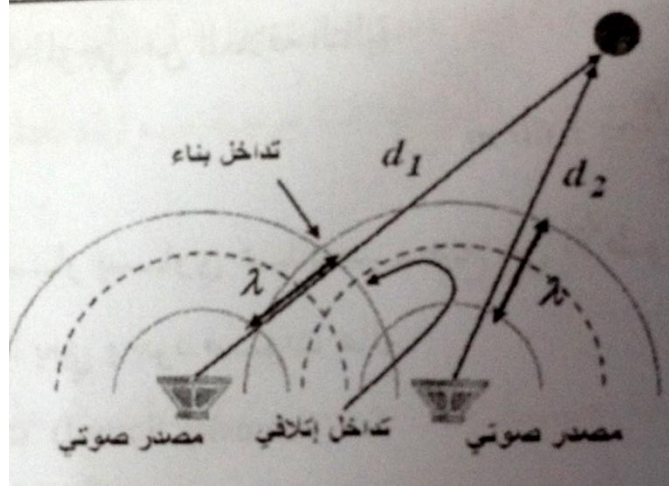
١- يحصل للموجات الصوتية تداخل بناء عندما تكون $\phi=0$ أو من مضاعفات صحيحة (2π) أي

ان :

$$\phi = m2\pi, m = 0,1,2, \dots, \Delta d = m\lambda$$

٢- يحصل للموجات الصوتية تداخل هدام عندما تكون ϕ من مضاعفات فردية π أي ان :

$$\phi = \left(m + \frac{1}{2}\right) 2\pi, m = 0, 1, 2, \dots, \Delta d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$



الشكل (4-2)

انكسار الصوت

هو انحراف الصوت عن مساره الأصلي عند انتقاله من وسط الى وسط اخر بسبب اختلاف سرعتي الصوت بين الوسطين وبسبب اختلاف كثافة الوسط فكلما قل الفرق بين سرعة الصوت للوسطين كلما كان الانكسار اكثر وضوحا .

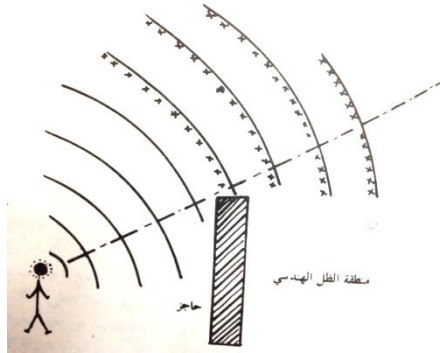
ظاهرة الاستطارة

الموجات الصوتية تستطار في جميع الاتجاهات عندما تسقط على عوائق ذات ابعاد صغيرة بالمقارنة مع الطوال الموجية الطويلة ، وسعة الموجة المستطيرة على مسافات بعيدة من العائق تتناسب طرديا مع حجم العائق وعكسيا مع مربع الطول الموجي وعلى هذا الاساس فان الموجات القصيرة تكون استطارتها اكبر من الموجات الطويلة .

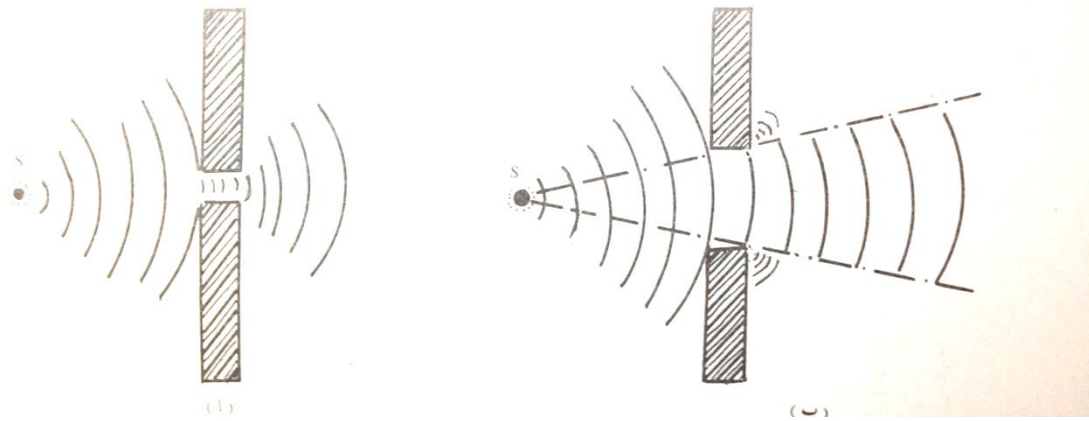
ظاهرة الحيود

تعني إن الموجات الصوتية تنحني حول العوائق التي تعترضها وتدخل منطقة الظل الهندسي . أي انك تسمع صوت شخص يناديك من وراء حاجز دون ان يراك ، أي إن الموجات الصوتية تحيد عن مسارها عند حافة الحاجز وتدخل منطقة الظل الهندسي شكل (4-3) وان مقدار الحيود عن العائق يزداد مع ازدياد الطول الموجي

، أي إن الصوت عالي التردد يعطي ظلًا أكثر حدة من الصوت منخفض التردد. ويمكن تفسير ظاهرة الحيود على أساس قاعدة هاينز التي تنص على " أي نقطة في جبهة الموجة يمكن اعتبارها مصدرًا جديدًا لموجات ثانوية ". ويمكن توضيح ذلك بوضع مصدر S_1 أمام حاجز فيه فتحة صغيرة ذات أبعاد صغيرة بالمقارنة مع الطول الموجي للصوت الصادر من المصدر . إن الثقب الصغير يصبح مركز لموجات كروية كما في الشكل (4-5/a) أما إذا كانت الفتحة كبيرة كما في الشكل (4-5/b) 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 أبعاد الفتحة والطول الموجي . إن تأثير الحيود يقل كلما زادت أبعاد الفتحة بالمقارنة مع الطول الموجي. إن موجات الصوت تحيد عن مسارها ولا تنعكس تمامًا عندما تسقط على سطح عاكس أبعاده مقاربه للطول الموجي.



شكل (4-3) ظاهرة الحيود حول حافة حاجز



شكل (4-5)

ظاهرة دوبلر

وهي من الظواهر المألوفة إذا وجدت سرعة نسبية بين مصدر الصوت والسامع تغيرت درجة الصوت التي تستقبلها أذن السامع وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة دوبلر (هو التغير في التردد أو بالطول الموجي نتيجة لحركة المصدر مقتربا أو مبتعدا عن المستمع).

إن تأثير دوبلر في الصوت يحدث عندما يكون هناك حركة نسبية بين كل من :

١- مصدر الموجة الصوتية

٢- الوسط الناقل للموجة

٣- المستقبل الذي يستلم الموجة (المستمع)

إن تأثير دوبلر في الصوت غير متماثل فعندما يقترب المصدر من السامع بسرعة معينة فإن درجة الصوت تبدو مختلفة عن الحالة التي يقترب فيها السامع من المصدر بنفس السرعة .
ولإيجاد العلاقة الكمية لتأثير دوبلر يجب أن نأخذ جميع الحركات بعين الاعتبار (حركة المصدر والوسط والمستقبل) وسنفرض إن جميع الحركات منتظمة وباتجاه واحد .

قانون تغير التردد بتأثير ظاهرة دوبلر هو :

$$\frac{f}{f_0} = \frac{c+u-w}{c+u-v_s}$$

u : سرعة الهواء ،

c : سرعة الموجة الصوتية

v_s : سرعة المصدر ،

w : سرعة السامع وجميعها باتجاه واحد

f : تردد الصوت الذي تسمعه الأذن c الظاهري ، f₀ : تردد الصوت المنبعث من المصدر الحقيقي

وأما طريقة الاستنتاج فهي كالآتي : $c = f_0 \lambda$

• إذا كان المصدر ساكن فبعد ثانية واحدة تكون الذبذبة الأولى قد ابتعدت مسافة ثانية واحدة عن

المصدر c

• أما لو تحرك المصدر من الثانية الواحدة فان سرعته v تمثل المسافة الحقيقية التي تقطعها الموجة

الصوتية في الثانية الواحدة (c-v) وبذلك فان طول الموجة الصوتية الجديدة λ' تساوي

$$\lambda' = (c - v) / f_0$$

وعندما تمر هذه الأمواج بمستمع ساكن فسوف يشعر بأنه يستمع إلى نغمة ترددها

$$f = \frac{c}{\lambda'} = \frac{f_0 c}{c - v} = f_0 \left(\frac{c}{c - v} \right)$$

أي إن التردد الظاهري اكبر من التردد الحقيقي كما إن التردد الظاهري ينقص لو كان المصدر متحركاً

مبتعدا عن المستمع ويكون في هذه الحالة

$$f = f_0 \left(\frac{c}{c+v} \right)$$

لنفرض إن المستمع نفسه تحرك في اتجاه حركة المصدر نفسه w فإن الأمواج تشغل في الثانية الواحدة المسافة $(c-w)$ وبما إن طول الموجة لا يتغير بحركة المستمع فإن التردد الظاهري الذي يسمعه السامع يكون

$$f = \frac{c-w}{\lambda}, \lambda = \frac{c}{f_0}, \frac{1}{\lambda} = \frac{f_0}{c}$$

$$f = f_0 \left(\frac{c-w}{c} \right)$$

أما إذا كان اتجاه الحركة للمستمع بعكس اتجاه حركة المصدر فإن المعادلة تصبح

$$f = f_0 \left(\frac{c+w}{c} \right)$$

وإذا تحرك الوسط (بتأثير الرياح) بسرعة قدرها u باتجاه حركة المصدر تكون سرعة الموجة في أي لحظة $(c+u)$ وإن طول الموجة سيتغير أيضا

$$\lambda' = \frac{c+u}{f_0}, \quad f_0 = \frac{c+u}{\lambda'}$$

أي إن التردد لا يتغير بتأثير الرياح.

إذا كان المصدر أو المستمع متحركا في وسط متحرك فنعوض عن سرعة الصوت في المقدار $(c+u)$ في المعادلات السابقة فمعادلة المصدر المتحرك هي :

$$f = f_0 \left(\frac{c+u}{c+u-v} \right) \quad \text{للمصدر المتحرك}$$

$$f = f_0 \left(\frac{c+u-w}{c+u} \right) \quad \text{للمستمع المتحرك}$$

أما إذا كان الثلاثة (المصدر والمستمع والوسط) في حركة فإن

$$f = f_0 \left(\frac{c+u-w}{c+u-v} \right)$$

أما إذا الوسط (سرعة الرياح مثلا) باتجاه معاكس فإن إشارتها تنعكس .

$$f = f_0 \left(\frac{c-u-w}{c+u-v} \right)$$

الحالة الاولى // عندما المصدر متحرك والمستمع ساكن

مثال // يطلق قطار صوت تردده 500Hz وهو يغادر المحطة بسرعة 30m/sec . اوجد تردد الصوت الذي

يستقبله مستمع ساكن خلف القطار إذا كانت سرعة الصوت 340m/sec ؟

$$f' = f \left(\frac{v}{v+v_s} \right)$$

$$f' = 500 \left(\frac{340}{340+30} \right) = 459 \text{ Hz}$$

استخدمنا الإشارة الموجبة لأن المصدر مبتعد عن السامع (خلف القطار)

f : التردد الظاهري

f : التردد الحقيقي

v_s : سرعة المصدر

v : سرعة الصوت في الوسط

الحالة الثانية// عندما يكون المصدر ساكن والمستمع متحرك

مثال// يتحرك راكب دراجة بسرعة منتظمة مقدارها 9m/sec نحو مصدر صوتي ساكن تردده 100Hz . احسب التردد الذي يسمعه راكب الدراجة في حالة اقترابه من المصدر وفي حالة ابتعاده عن المصدر . افرض سرعة الصوت 335m/sec .

التردد الذي يسمعه راكب الدراجة عندما يقترب من المصدر نستخدم المعادلة التالية

$$f' = f \left(\frac{v}{v+v_s} \right)$$

$$f' = 1000 \left(\frac{335+9}{335} \right) = 102.7 \text{ Hz}$$

v : سرعة الصوت في الوسط

v_D : سرعة المستمع

٢- التردد الذي يسمعه راكب الدراجة عندما يبتعد عن المصدر

$$f' = f \left(\frac{v-v_D}{v} \right)$$

$$f' = 100 \left(\frac{335-9}{335} \right) = 97.3 \text{ Hz}$$

الحالة الثالثة // عندما يتحرك المصدر والمستمع معا

مثال // تتحرك سيارة اسعاف محدثة صوتا تردده (1000Hz) مقتربة من سيارة مرور متحركة باتجاهها ، اذا كانت سرعة سيارة الاسعاف (40m/sec) ، سرعة السيارة (35m/sec) ، سرعة الصوت

١- اوجد : تردد الصوت الذي يسمعه سائق سيارة المرور . (340m/sec)

٢- تردد الصوت الذي يسمعه سائق سيارة المرور اذا كانت حركة السيارتين متباعدتين عن بعضهما البعض.

الحل // ١- نختار الاشارة السالبة ليكون التردد الذي يسمعه سائق سيارة المرور اقل ما يمكن في حالة الاقتراب

$$f' = f \frac{v-v_D}{v+v_s}$$

$$f' = 1000 \left(\frac{340-35}{340+40} \right) = 802.6 \text{ Hz}$$

٢- نختار الاشارة ليكون التردد الذي يسمعه سائق سيارة المرور اكبر ما يمكن في حالة الابتعاد

$$f' = f \frac{v+v_D}{v-v_s} = 1000 \left(\frac{340+35}{340-40} \right) = 1250 \text{ Hz}$$

مثال // سيارة تتحرك بسرعة (20 m/ sec) تطلق بوقاً بتردد (500 Hz) تقترب من مراقب ساكن ثم تتجاوز، أحسب التغير في درجة الصوت. خذ سرعة الصوت في الهواء الساكن (340 m / sec) ؟

$$١) f' = f \frac{v}{v-v_s}, f' = 500 * \frac{340}{340-20} = 531 \text{ Hz}$$

$$٢) f' = f \frac{v}{v+v_s}, f' = 500 * \frac{340}{340+20} = 472 \text{ Hz}$$

نجد ان التغير في درجة الصوت هو

$$\frac{f}{f'} = \frac{472}{531} \approx 0.9$$

مثال // تطلق سيارة اطفاء صفارة بتردد (450Hz) بينما كانت مسرعة بسرعة (130K/h)، اوجد التردد الذي يسمعه شخص يتحرك على رصيف الطريق بسرعة 3m/sec في الاتجاه المعاكس عندما يقترب منها وعندما يبتعد عنها ، علما ان سرعة الصوت 340m/sec .

$$V_s=130k/h=36m/sec$$

نحسب التردد الذي يسمعه الشخص عندما يقترب من سيارة الاطفاء

$$f' = f \frac{v+v_D}{v-v_S} = 450 \left(\frac{340+3}{340-36} \right) = 513.6 \text{ Hz}$$

نحسب التردد الذي يسمعه الشخص عندما يبتعد عن سيارة الاطفاء

$$f' = f \frac{v-v_D}{v+v_S} = 450 \left(\frac{340-30}{340+36} \right) = 403.3 \text{ Hz}$$