موج مکانیکی (2)

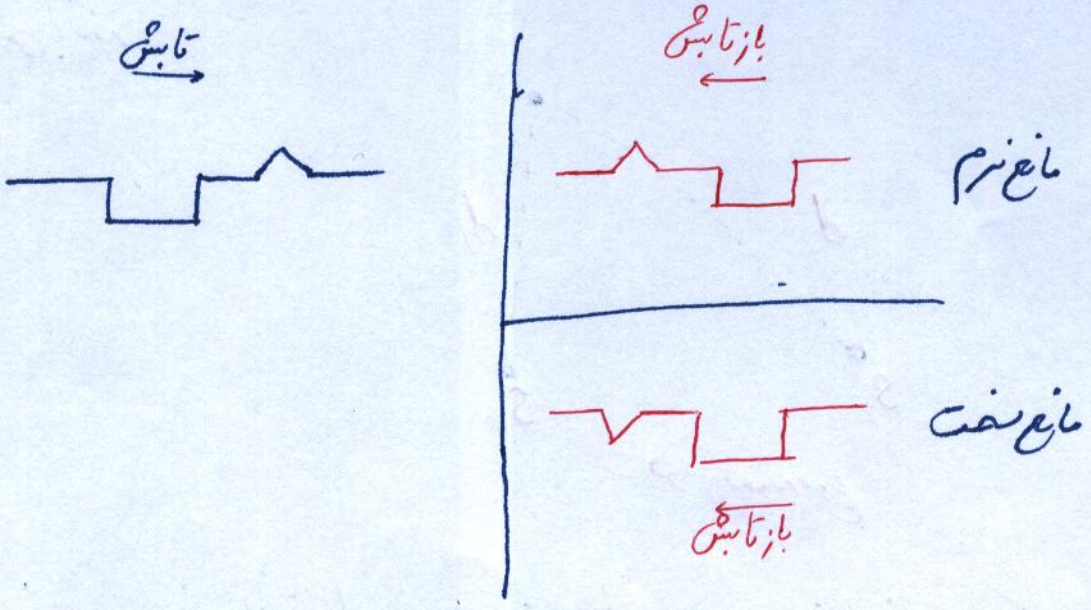
جبهه موج: تمام نقاطی که روی یک دایره‌ی موج با هم، هم فاز هستند را جبهه‌ی موج گویند.

بازتاب موج: بازتاب یک موج بستگی به وضعیت یک مانع دارد به طوریکه:

الف) اگر نرم باشد: موج تابش شده پس از برخورد به این مانع بازتابش نموده به طوریکه اختلاف فاز بین تابش و بازتابش در محل برخورد با مانع برابر با صفر بوده و شکل موج بازتابش در این حالت قرینه‌ی شکل موج تابش نسبت به محور قائم می‌باشد.

ب) مانع سخت باشد: هنگامی که موج تابش به مانع سختی برخورد نماید، بازتابش نموده به طوریکه اختلاف فاز بین موج تابش و بازتابش در محل برخورد به مانع برابر با π می‌باشد.

مانند شکل زیر:



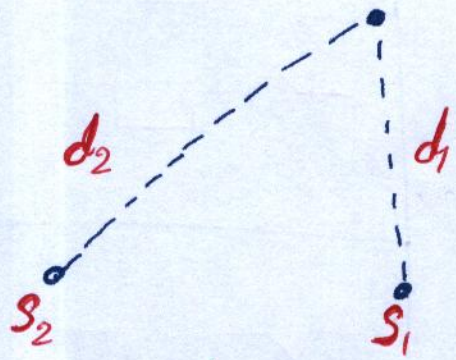
ترکیب امواج (تداخل امواج در یک بعد): هرگاه چند موج هم‌زمان به یک نقطه از محیط در حال ارتعاش به هم برسند، بدون ایجاد تغییر شکل از آن نقطه عبور نموده به طوریکه دامنه‌ی ارتعاش نقطه‌ای مذکور برطبق اصل ترکیب حرکات ارتعاشی کم‌دامنه برابر با برآیند دامنه‌هایی می‌باشد که هر یک

از آن موجها در آن نقطه ایجاد می نمایند. در صورتی که موجهای مورد نظر هم راستا باشند، دامنه ی نقطه ی مورد نظر برابر با جمع جبری دامنه هایی می باشد که هریک از آن موجها در آن نقطه ایجاد می نمایند. یعنی:

$$A_T = A_1 + A_2 + \dots$$

تداخل امواج در دو بعد: هرگاه امواج دو منبع که هم راستا و هم فاز و هم دوره می باشند در یک محیط انتشار یابند از ترکیب این امواج پدیده ی تداخل امواج ایجاد می گردد یعنی در بعضی از نقاط محیط دو موج هم فاز به هم خواهند رسید، در نتیجه اثر این دو موج در این نقاط سازنده بوده، بنابراین دامنه ی ارتعاش این نقاط ماکسیمم می گردد. به طوریکه این نقاط بر روی هذلولی های پیشینی قرار داشته و اختلاف فاصله ی این نقاط از دو منبع مضرب صحیحی از λ و یا مضرب زوجی از $\frac{\lambda}{2}$ می باشند.

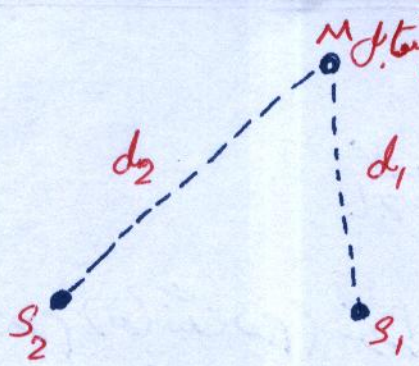
$$d_2 - d_1 = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2}$$



دو منبع مولد موج

و همچنین در بعضی از نقاط دو موج در فاز متقابل به هم خواهند رسید که در این نقاط اثر دو موج ویران گر بوده یعنی دامنه ی ارتعاش در این نقاط صفر می گردد و این نقاط بر روی هذلولی های کمینی قرار داشته به طوریکه اختلاف فاصله ی هریک از این نقاط از دو منبع مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ می باشد

③



$$d_2 - d_1 = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$

مثال: امواج دو منبع که فرکانس ارتعاشی هر منبع 100 هرتز می‌باشد با سرعت ثابت $5\left(\frac{m}{s}\right)$ در یک محیط در حال انتشار می‌باشند. اگر امواج این دو منبع در آن محیط ترکیب یابند، اختلاف فاصله هر نقطه واقع بر سومین هذلولی بیشینه از دو منبع چند cm می‌باشد؟

$$d_2 - d_1 = n\frac{v}{f} = 3 \times \frac{5}{100} = 0.15\,m = 15\,cm$$

مثال: دو آونگ A و B با هم شروع به نوسان در آوردیم. دوره‌ی آونگ A، 1.8(s) و در مدت 36 ثانیه دو نوسان کامل از آونگ B جلو می‌افتد. طول آونگ B چند متر است؟ $(\pi^2 = 10)$

$$T_A = \frac{t}{N_A} \Rightarrow N_A = \frac{t}{T_A} \Rightarrow N_A = \frac{36}{1.8} = 20$$

$$N_B = 20 - 2 = 18$$

$$T_B = \frac{t}{N_B} = \frac{36}{18} = 2 \Rightarrow T_B = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow 2 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{10}} \Rightarrow$$

$$1 = \pi^2\frac{L}{g} \Rightarrow 1 = 10\frac{L}{10} \Rightarrow \boxed{L = 1}$$

تار مرتعش: یکی از وسیله‌های مولد اصوات موسیقی تارهای مرتعش می‌باشند که رابطه‌های مربوط به تارهای مرتعش با توجه به حالت‌های زیر به صورت‌های زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف) دو انتهای تار ثابت باشد: هنگامی که تار صوت اول (هماهنگ اول) خود را ایجاد می‌نماید

④

خواهیم داشت:

$$L=\frac{\lambda_1}{2} \Rightarrow \nu_1=\frac{V}{2L}$$

وهنگامی که تار صوت دوم (هماهنگ دوم) خود را ایجاد می نماید، خواهیم داشت:

$$L=\frac{2\lambda_2}{2} \Rightarrow \nu_2=\frac{2V}{2L}$$

بنابراین هنگامی که تار صوت nام (هماهنگ nام) خود را ایجاد می کند خواهیم داشت:

$$L=n\frac{\lambda_n}{2}\ ,\quad \nu_n=n\nu_1\ ,\quad \nu_n=\frac{nV}{2L} \quad \text{یا} \quad \nu_n=\frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}\ ,\quad \lambda_n=\frac{\lambda_1}{n}$$

که در این رابطه ها n معرف تعداد صوت - تعداد هماهنگ - تعداد شکم بوده و یا n برابر با تعداد گره منهای 1 .

*) با توجه به رابطه های بدست آمده می توان نتیجه گرفت:

① فرکانس صوت اصلی ایجاد شده توسط تار با طول تار نسبت عکس دارد یعنی:

$$\frac{\nu}{\nu'}=\frac{L'}{L}$$

② فرکانس صوت اصلی ایجاد شده توسط این تار با سرعت انتشار ارتعاشات در طول تار نسبت مستقیم دارد:

$$\frac{\nu}{\nu'}=\frac{V}{V'}$$

به همین ترتیب تا چهار های مساوی صدق می کند.

③ چنین تارهای می توانند هماهنگ های زوج و فرد را ایجاد نمایند.

(5)

ب) اگر یکی از دو انتهای تار بسته و انتهای دیگر باز باشد : هنگامی که تار صوت اول خود را در این حالت ایجاد می کند، خواهیم داشت :

$$L=\frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \nu_1=\frac{V}{4L}$$

و هنگامی که تار صوت دوم (هماهنگ سوم) خود را ایجاد می کند خواهیم داشت :

$$L=\frac{3\lambda_2}{4} \Rightarrow \nu_2=\frac{3V}{4L}$$

بنابراین هنگامی که تار صوت n ام و یا هماهنگ $(2n-1)$ ام خود را ایجاد می کند خواهیم داشت:

$$L=(2n-1)\frac{\lambda_n}{4} \quad , \quad \nu_n=(2n-1)\nu_1 \quad , \quad \nu_n=\frac{(2n-1)V}{4L} \quad , \quad \nu_n=\frac{(2n-1)}{4L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$\lambda_n=\frac{\lambda_1}{2n-1}$$

که در این رابطه ها n معرف تعداد صوت - تعداد گره - تعداد شکم بوده ، در صورتی که $(2n-1)$ معرف تعداد هماهنگ می باشد.

*) با توجه به رابطه های ذکر شده می توان نتیجه گرفت :

① فرکانس صوت اصلی با طول تار نسبت عکس دارد.

② فرکانس صوت اصلی با سرعت انتشار صوت در تار نسبت مستقیم دارد.

③ چنین تارهایی فقط هماهنگ های فرد را می توانند ایجاد نمایند.

مثال: در یک تاری که دو انتهای آن بسته می باشد، اگر نیروی کشش تار را 4 برابر و طول تار را نصف نماییم، بسامد صوت اصلی آن چند برابر می گردد؟

$$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{L}{L'} \times \sqrt{\frac{F'}{F}} \Rightarrow \frac{\nu'}{\nu} = 2 \times 2 = 4$$

مثال: تار مرتعشی به طول 10cm و جرم 1gr با نیروی 16 نیوتن بین دو نقطه کشیده می شود اگر در طول تار 5 گره ایجاد گردد، بسامد ارتعاشات موجود در تار چند هرتز می باشد؟

$$\nu_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F.L}{m}} = \frac{4}{2\times 0.1}\sqrt{\frac{16\times 0.1}{0.001}} = \frac{4}{0.2} \times 40 = 800$$

صوت:

صوت یک موج طولی است که توسط مولکولها منتقل می شود. دارای انتشار و ارتعاش می باشد. طی کلیه مواد شامل گازها، مایعات، جامدات می تواند عبور کند. انتشار آن در محیط همگن یکنواخت ولی ارتعاش آن به صورت حرکت نوسانی ساده انجام می شود. (لایه بسته شدن)

براساس تعریف دیگر در واقع در اثر ارتعاش اجسام کشسان (الاستیکی) امواج مکانیکی خاصی ایجاد می گردد که این امواج مقداری از انرژی منبع موله موج را به گوش انسان انتقال داده که به این امواج صوت گوئیم. از طرفی چون صوت جزء امواج مکانیکی می باشد برای انتشار آن نیاز به محیط مادی بوده و چون امواج صوتی جزء امواج طولی می باشند، در صورتی محیط می تواند انتشار یابند به طوریکه معمولاً سرعت صوت در اجسام جامد بیشتر از سرعت صوت در مایعات و همچنین سرعت صوت در مایعات بیشتر

از گاز ها می باشد.

فراصوت و فروصوت: گوش انسان صوت هایی را که فرکانس آنها بین 20 هرتز تا 20 هزار هرتز می باشد، تحت شرایط خاصی می تواند بشنود. از طرفی صوتهایی که فرکانس آنها کوچکتر از 20 هرتز می باشد، فروصوت (ماوراء صوت) و همچنین صوت هایی که فرکانس آنها بیش از 20000 هرتز می باشد، فراصوت (ماورای صوت) گوئند که گوش انسان بررروی این صوت ها هیچ گونه حساسیتی ندارد.

رابطه ی سرعت صوت با عوامل موثر بر آن در یک محیط گازی:

برطبق رابطه ی لاپلاس رابطه ی بین سرعت صوت با عوامل موثر بر آن در یک محیط گازی شکل به صورتهای زیر نتیجه می شود:

① سرعت صوت با جذر ضریب اتمیسیته ی گاز نسبت مستقیم دارد:

$$\gamma = \frac{C_{MP}}{C_{MV}}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}}$$

که این ضریب برای گازهای تک اتمی و یا مخلوطی از گازهای تک اتمی $\gamma = 1.67$ و همچنین برای گازهای دواتمی و مخلوطی از گازهای دواتمی، $\gamma = 1.4$ و برای گازهای سه اتمی و مخلوطی از گازهای سه اتمی، $\gamma = 1.33$ در نظر گرفته می شود.

② سرعت انتشار صوت با جذر دمای مطلق گاز نسبت مستقیم دارد یعنی:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

در صورتی که گاز هوا در نظر گرفته شود، رابطه ی سرعت صوت در هوا به صورت زیر نیز نتیجه می شود:

$V_0 = 331 \left(\frac{m}{s}\right)$ سرعت صوت در هوای صفر درجه

$V = V_0 + 0.61\theta$ ← سرعت صوت در هوای θ درجه

③ سرعت انتشار صوت با جذر جرم مولکولی گاز و همچنین با جذر چگالی گاز نسبت عکس دارد:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \qquad (\text{یا}) \qquad \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

* سرعت انتشار صوت در یک محیط گازی شکل بستگی به فشار گاز نداشته، یعنی اگر فشار گاز تغییر نماید سرعت صوت همواره ثابت بوده، بنابراین می‌توان گفت:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma_1}} \times \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \times \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

* رابطه‌ی سرعت انتشار صوت در یک محیط گازی شکل بر حسب عوامل موثر بر آن که با استفاده از رابطه‌ی لاپلاس به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$V = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M(kg)}}$$

مثال: سرعت صوت در گاز A در دمای صفر درجه سلسیوس $440\left(\frac{m}{s}\right)$ می‌باشد. اگر جرم مولکولی گاز B نصف جرم مولکولی گاز A و دمای آن 273 درجه سلسیوس باشد، سرعت صوت در گاز B چند $\left(\frac{m}{s}\right)$ می‌باشد؟ (هر دو گاز دواتمی می‌باشند)

$$\frac{V_B}{V_A} = \sqrt{\frac{T_B}{T_A}} \times \sqrt{\frac{M_A}{M_B}} = \sqrt{2} \times \sqrt{2} = 2 \Rightarrow V_B = 880$$

$V_A = 440$

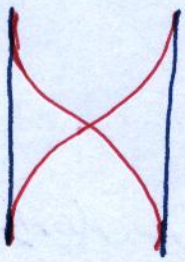
مثال: سرعت صوت در هوای صفر درجه سلسیوس $331\left(\frac{m}{s}\right)$ می‌باشد. درجه دمایی بر حسب سلسیوس سرعت صوت در هوا برابر با $361.5\left(\frac{m}{s}\right)$ خواهد بود؟

$$V = V_0 + 0.61\theta \Rightarrow 361.5 = 331 + 0.61\theta \Rightarrow 30.5 = 0.61\theta$$

$$\Rightarrow \theta = 50$$

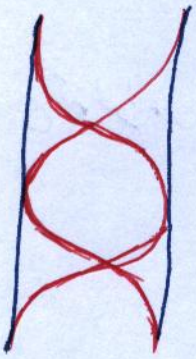
⑨ **لوله های صوتی :** یکی از مولدهای اصوات صوتی لوله های صوتی می باشند که به دو صورت باز و بسته در نظر گرفته می شود و روابط هر یک به صورتهای زیر نتیجه می شود:

الف) هنگامی که لوله‌ی صوتی باز، صوت اول خود را ایجاد می نماید خواهیم داشت:



$$L=\frac{\lambda_1}{2} \Rightarrow \nu_1=\frac{V}{2L}$$

وهنگامی که صوت دوم خود را ایجاد می کند خواهیم داشت:



$$L=\frac{2\lambda_2}{2} \Rightarrow \nu_2=\frac{2V}{2L}$$

بنابراین هنگامی که لوله صوتی باز صوت n ام خود و در نتیجه هماهنگ n ام خود را ایجاد می کند، می توان نتیجه گرفت:

$$\lambda_n=\frac{\lambda_1}{n} \quad , \quad L=\frac{n\lambda_n}{2} \quad , \quad \nu_n=\frac{nV}{2L} \quad , \quad \nu_n=n\nu_1$$

که در این رابطه ها n معرف تعداد صوت و تعداد هماهنگ و تعداد گره می باشد و یا n برابر با تعداد شکم منهای ۱ . از طرفی می توان نتیجه گرفت:

① فرکانس صوتی اصلی در لوله‌های صوتی با طول لوله نسبت عکس دارند:

$$\frac{\nu'_0}{\nu_0}=\frac{L}{L'}$$

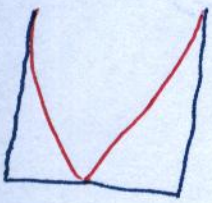
② فرکانس صوت اصلی با سرعت انتشار صوت نسبت مستقیم دارند:

$$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{V'}{V}$$

③ لوله های صوتی باز هماهنگ های زوج و فرد را ایجاد می نمایند یعنی:

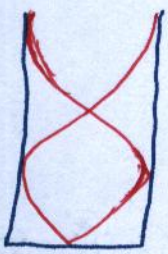
$$\frac{\nu_n'}{\nu_n} = \frac{n'}{n}$$

ب) لوله های صوتی بسته: هنگامی که لوله ی صوتی بسته صوت اول خود را ایجاد می کند، خواهیم داشت:



$$L = \frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \nu_1 = \frac{V}{4L}$$

و هنگامی که لوله ی صوتی بسته صوت دوم (هماهنگ سوم) خود را ایجاد می کند خواهیم داشت:



$$L = \frac{3\lambda_2}{4} \Rightarrow \nu_2 = \frac{3V}{4L}$$

بنابراین هنگامی که لوله ی صوتی بسته صوت n ام (هماهنگ 2n-1 ام) خود را ایجاد می کند می توان نتیجه گرفت:

$$\lambda_n = \frac{\lambda_1}{2n-1} \quad , \quad L = \frac{(2n-1)\lambda_n}{4} \quad , \quad \nu_n = \frac{(2n-1)V}{4L} \quad , \quad \nu_n = (2n-1)\nu_1$$

از طرفی لوله های صوتی بسته فقط هماهنگ فرد ایجاد می نمایند به طوریکه خواهیم داشت:

$$\frac{\nu_n}{\nu_n'} = \frac{2n-1}{2n'-1}$$

که در این رابطه ها n معرف تعداد صوت، تعداد گره و تعداد شکم می باشد در صورتی که 2n-1 معرف تعداد هماهنگ است.

(۱۱) مثال: طول لوله‌ی صوتی بازی 15 سانتی متر می باشد. طول موج صوت سوم ایجاد شده توسط این لوله چند سانتی متر است؟

$$L = n\frac{\lambda}{2} \Rightarrow 15 = 3\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 10\ cm$$

مثال: در یک لوله‌ی صوتی بسته بسامد صوت دوم 300 هرتز می باشد. فرکانس هماهنگ پنجم ایجاد شده توسط این لوله چند هرتز است؟

$$\frac{\nu_n}{\nu_{n'}} = \frac{2n-1}{2n'-1} \Rightarrow \frac{300}{\nu_{n'}} = \frac{3}{5} \Rightarrow \nu_{n'} = 500$$

شدت صوت:

مقدار انرژی صوتی که در واحد زمان از واحد سطح در راستای عمود بر آن سطح می گذرد، شدت آن صوت می باشد که جزء کمیتهای نرده ای بوده و رابطه‌ی آن به صورتهای زیر در نظر گرفته می شود:

$$I = \frac{E(J)}{S(m^2).t(S)} \quad (\frac{W}{m^2}) \qquad (1) \quad I = \frac{P(W)}{S(m^2)} \qquad (1) \quad I = k\frac{A^2\nu^2}{d^2}$$

(ثابت، دامنه، بسامد، فاصله‌ی شنونده از منبع صوت)

بنابراین می توانیم بگوییم شدت صوت به عوامل زیر بستگی دارد:

(۱) با مجذور دامنه‌ی امواج صوتی نسبت مستقیم دارد، یعنی:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

(2) با مجذور فاصله‌ی شنونده از منبع موله صوت نسبت عکس دارد، یعنی:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

③ چون در محیط مقداری از انرژی صوتی را جذب می نماید بنابراین شدت صوت با مجذور بسامد امواج صوتی نسبت مستقیم دارد:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right)^2$$

بنابراین:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \times \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right)^2$$

مثال: توان یک منبع صوتی 5π وات است. شدت صوت در نقطه‌ای به فاصله‌ی 10 متر از این منبع صوتی چند $\frac{W}{m^2}$ می باشد؟

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{5\pi}{4\pi \times (10)^2} = \frac{5}{4 \times 100} = 1.25 \times 10^{-2}$$

مثال: هرگاه دامنه‌ی ارتعاشی یک منبع مولد صوتی 5 برابر و فاصله‌ی شنونده از منبع مولد صوت نصف گردد. شدت صوت شنیده شده نسبت به مکان اولیه چند برابر می گردد؟

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 * \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = (5)^2 \times (2)^2 = 25 \times 4 = 100$$

آستانه‌ی شنوایی و آستانه‌ی دردناکی:

برای صوتی با فرکانس معین اگر شدت آن صوت از حد معینی کمتر باشد آن صوت شنیده نمی شود که به آن حد آستانه‌ی شنوایی گویند. از طرفی شدت آستانه‌ی شنوایی برای صوتی با فرکانس 1000 هرتز برابر است با:

$$I_0 = 10^{-12}\left(\frac{W}{m^2}\right) \quad ① \quad I_0 = 10^{-6}\left(\frac{W}{m^2}\right)$$

و همچنین برای یک صوت با فرکانس معین اگر شدت آن صوت از حد معینی بیشتر باشد آن صوت برروی گوش اثر دردناکی داشته باشد که به آن حد، آستانه‌ی دردناکی گویند و شدت آستانه‌ی دردناکی برای گوش سالم

(13) برابراست با:

$I = 1 \left(\frac{W}{m^2}\right)$ (ب) $I = 10^6 \left(\frac{\mu W}{m^2}\right)$

تراز شدت صوت:

لگاریتم شدت یک صوت به شدت صوت مبنا (آستانه‌ی شنوایی) معرف تراز شدت آن صوت می باشد که اندازه‌ی آن با استفاده از رابطه‌ی زیر مشخص می گردد:

$$\beta = k \log \frac{I}{I_0}$$

اگر β برحسب بل باشد. $k=1$

" " " دسی بل باشد. $k=10$

تراز شدت نسبی دو صوت:

لگاریتم نسبت شدت هر دو صوت معرف تراز شدت نسبی آن دو صوت می باشد که رابطه‌ها آن به صورتهای زیر در نظر گرفته می شود:

$$\beta_2 - \beta_1 \overset{(db)}{=} 10 \log \frac{I_2}{I_1}$$

(ب)

$$\beta_2 - \beta_1 = 20 \log \frac{d_1}{d_2}$$

مثال: تراز شدت آستانه‌ی دردناکی چند دسی بل می باشد؟

$$\beta = k \log \frac{I}{I_0} = 10 \times \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \times 12 = 120$$

مثال: تراز شدت یک صوت در حالت اول 10 دسی بل کمتر از تراز شدت همان صوت در حالت دوم می باشد. نسبت $\frac{I_1}{I_2}$ را بدست آورید؟

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow 10 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 0.1$$

پدیده دوپلر :

تغییر فرکانس صوت شنیده شده در اثر حرکت نسبی شنونده و منبع مولد صوت را پدیده‌ی دوپلر گویند، که در این حالت رابطه‌ی بین فرکانس صوت شنیده شده با فرکانس منبع مولد صوت و همچنین بین طول موج صوت شنیده شده با طول موج صوت ایجاد شده توسط منبع رابطه‌هایی به صورتهای زیر برقرار است:

$$\frac{f_0}{V-V_0} = \frac{f_s}{V-V_s} \quad \text{(یا)} \quad \frac{f_0}{f_s} = \frac{V-V_0}{V-V_s}$$

f_0: بسامد صوت شنیده شده — f_s: بسامد منبع — $V-V_0$: سرعت صوت در محیط — $V-V_s$: سرعت منبع — V_0: سرعت شنونده

$$\frac{\lambda_s}{V-V_0} = \frac{\lambda_0}{V-V_s}$$

λ_0: طول موج صوت شنیده شده — λ_s: طول موج منبع

از طرفی بر طبق قرارداد جهت مثبت از منبع (S) به شنونده (O) می‌باشد، به طوریکه اگر شنونده یا منبع در این جهت حرکت نماید سرعت آن را با علامت مثبت در رابطه جاگذاری می‌کنیم و اگر خلاف این جهت حرکت نمایند سرعت آن‌ها را با علامت منفی در رابطه‌های ذکر شده جاگذاری می‌کنیم.

(*) ① هرگاه یک منبع مولد صوت در حال حرکت باشد طول موج ایجاد شده در جلوی این منبع و در پشت این منبع با استفاده از رابطه‌های زیر بدست می‌آید:

در پشت $\lambda' = \frac{V+V_s}{f_s}$ — در جلو $\lambda = \frac{V-V_s}{f_s}$

② هرگاه یک منبع مولد صوت به یک شنونده‌ی ساکن نزدیک و سپس از آن دور گردد نسبت فرکانس صوت شنیده شده در حال نزدیک شدن به فرکانس صوت شنیده شده در حال دور شدن از رابطه‌ی زیر مشخص می‌گردد:

$$\frac{f_0}{f_0'} = \frac{V+V_s}{V-V_s}$$

f_0: نزدیک شدن — f_0': دور شدن

③ هرگاه یک شنونده همراه با منبع مولد صوت به یک مانع سخت بلندی نزدیک گردد، فرکانس صوت شنیده شده در اثر پژواک صوت شنیده می‌شود از رابطه‌ی زیر مشخص می‌گردد:

$$f_0 = \frac{V + V_S}{V - V_S} f_S$$

و هرگاه شنونده همراه با منبع مولد صوت از مانع مذکور دور گردد فرکانس صوت شنیده شده در اثر پژواک صوت از رابطه‌ی زیر مشخص می‌گردد:

$$f_0 = \frac{V - V_S}{V + V_S} f_S$$

مثال: اگر شنونده‌ای با نصف سرعت صوت از چشمه‌ی صوتی ساکنی دور گردد، نسبت فرکانس صوت شنیده شده به فرکانس صوت منبع چقدر می‌باشد؟

$$\frac{f_0}{f_S} = \frac{V - V_0}{V - V_S} = \frac{V - \frac{1}{2}V}{V - 0} = \frac{1}{2}V$$

مثال: یک منبع صوتی با سرعتی معادل $\frac{1}{5}$ سرعت صوت در حال حرکت است. نسبت طول موج صوت ایجاد شده در جلو و عقب منبع برابر است با:

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{V - V_S}{V + V_S} = \frac{V - \frac{1}{5}V}{V + \frac{1}{5}V} = \frac{\frac{4}{5}V}{\frac{6}{5}V} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$$

مثال های حل شده :

① موجی با طول موج 2m در یک طناب که یک سر آن باز و سر دیگر آن بسته است ایجاد موجی ایستاده کرده است. اگر 4 گره در طول طناب ایجاد شده باشد، طول طناب چند متر است؟ (تألیفی از بینش سازان)

پاسخ: یک سر طناب باز و سر دیگر آن بسته است بنابراین در یک طرف گره و طرف دیگر شکم داریم و در واقع:

تعداد شکم = تعداد گره = n ، تعداد هماهنگ = $2n-1$

$$n=4 \Rightarrow L=(2n-1)\frac{\lambda}{4}=(2\times 4-1)\times\frac{2}{4}=3.5\ m$$

② یک انتهای سیم A باز و انتهای دیگرش بسته است. هم‌چنین دو انتهای سیم B بسته است. اگر طول، جرم و نیروی کشش دو سیم با هم برابر باشد، بسامد هماهنگ سوم سیم A چند برابر بسامد هماهنگ پنجم سیم B است؟

طول سیم (L) و سرعت انتشار موج در هر دو یکسان است.

$$\frac{f_A}{f_B}=\frac{\frac{(2n_A-1)V}{4L}}{\frac{n_B V}{2L}}=\frac{(2n_A-1)}{2n_B}=\frac{3}{2\times 5}=0.3$$

③ تار مرتعشی به طول یک متر و جرم 2.5 گرم صوتی با فرکانس 200 هرتز تولید می‌کند. اگر نیروی کشش تار 100 نیوتن باشد، در طول آن چند گره وجود دارد؟

$$V=\sqrt{\frac{FL}{m}}=\sqrt{\frac{100\times 1}{0.0025}}=200\ \frac{m}{s}$$

$$\lambda=\frac{V}{f}=\frac{200}{200}=1\ m$$

طول موج تار برابر با طول تار است بنابراین 3 گره در طول تار وجود دارد.

(17)

(4) اگر طول تار مرتعشی را دو برابر و نیروی کشش آن را نیز دو برابر کنیم، بسامد اصلی چند برابر می‌شود؟

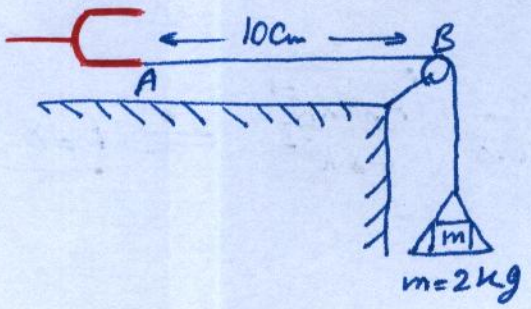
از رابطه‌ی $\nu_1 = \sqrt{\frac{F}{4mL}}$ و جایگذاری $m = \mu L$ در آن داریم:

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{F}{4\mu L^2}}$$

بنابراین با دو برابر کردن L و دو برابر کردن F داریم:

$$\nu_1 = \sqrt{2} \times \frac{1}{\sqrt{4}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

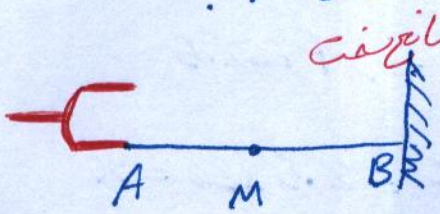
(5) با توجه به شکل زیر اگر در طول AB از تار 3 گره ایجاد گردد و جرم هر متر از آن 200 گرم باشد، فرکانس ارتعاشی دیاپازون متصل به تار چند هرتز می‌باشد؟



چون در طرف A با ارتعاشی دیاپازون شکم ایجاد می‌شود پس آن طرف را باز در نظر می‌گیریم.

$$\nu_n = \frac{2n-1}{4L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow \nu_n = \frac{2\times 3-1}{4\times 0.1}\sqrt{\frac{20}{0.2}} = 125$$

(6) مثال: ارتعاشات دیاپازونی با فرکانس 100 هرتز در تار AB منتشر می‌شود. اگر فاصله‌ی M تا B برابر 1cm و اختلاف فاز بین این دو نقطه برابر با $\frac{11}{3}$ باشد، تعیین کنید، الف) طول موج و سرعت انتشار موج در تار. ب) اختلاف فاز بین موج تابش و بازتابش در نقطه‌ی M؟



(18) الف) $\Delta\varphi = \frac{2\pi n}{\lambda} \Rightarrow \frac{\pi}{3} = \frac{2\pi \times 1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 6\,cm$

$\lambda = \frac{V}{\nu} \Rightarrow 6 = \frac{V}{100} \Rightarrow V = 600\left(\frac{cm}{s}\right) = 6\left(\frac{m}{s}\right)$

ب) موج در برخورد به جسم سفت و برگشت از آن π رادیان اختلاف فاز پیدا می‌کند.

اختلاف فاز M و M = $\frac{\pi}{3} + \pi + \frac{\pi}{3} = \frac{2\pi}{3} + \pi = \frac{5\pi}{3}$ (برگشت: برخورد، رفت)

(7) تار مرتعشی به طول 80cm و جرم 4 گرم بین دو نقطه کشیده شده است. اگر فرکانس تار 100 هرتز و در طول تار 5 گره تشکیل شده باشد، نیروی کشش تار و طول موج ارتعاشات ایجاد شده در تار را بدست آورید؟

$\nu_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{FL}{m}} \Rightarrow 100 = \frac{4}{2\times 0.8}\sqrt{\frac{F\times 8\times 10^{-1}}{4\times 10^{-3}}} \Rightarrow F = 8$

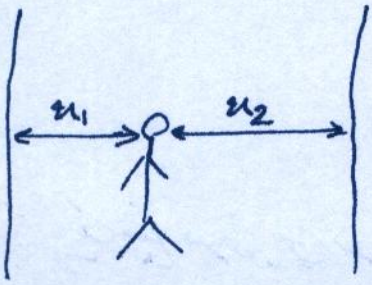
$L = \frac{n\lambda}{2} \Rightarrow 80 = 4\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 40\,cm$

(8) تار مرتعشی به طول 50cm که جرم آن 0.5 گرم است بین دو نقطه کشیده می‌شود. اگر فرکانس صوت اصلی آن 250 هرتز باشد، اولاً نیروی کشش تار (F) را بدست آورید. ثانیاً نیروی کشش تار را از F به F' تغییر داده و طول آن را به 10cm کوتاه می‌کنیم. در صورتی که فرکانس صوت اصلی تار در این حالت $\frac{3}{2}$ فرکانس صوت اصلی در حالت اول باشد، اندازه‌ی F' را مشخص کنید.

$\nu_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F.L}{m}} \Rightarrow 250 = \frac{1}{1}\sqrt{\frac{F\times 50\times 10^{-2}}{5\times 10^{-4}}} \Rightarrow F = 62.5$

$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{L}{L'}\times\sqrt{\frac{F'}{F}} \Rightarrow \frac{3}{2} = \frac{50}{40}\times\sqrt{\frac{F'}{62.5}} \Rightarrow F' = 2.5\times 36 = 90$

(9) مطابق شکل تیراندازی بین دو کوه ایستاده است و تیراندازی می‌کند. این تیرانداز صدای اولین پژواک را پس از 2 ثانیه و صدای دومین پژواک را پس از 3 ثانیه می‌شنود. تفاوت فاصله‌ی تیرانداز تا دو کوه $(x_2 - x_1)$، چند متر است؟ (سرعت صوت $340\left(\frac{m}{s}\right)$ فرض شود) (تألیفی اندیشه سازان)



برای شنیدن پژواک (اولین پژواک) صدا باید فاصله‌ی x_1 را دو بار برگردد:

$$V = \frac{2x_1}{t_1} \Rightarrow 340 = \frac{2x_1}{2} \Rightarrow x_1 = 340\,m$$

و همچنین برای دومین پژواک:

$$V = \frac{2x_2}{t_2} \Rightarrow 340 = \frac{2x_2}{3} \Rightarrow x_2 = 510\,m$$

تفاوت فاصله:

$$x_2 - x_1 = 510 - 340 = 170\,m$$

(10) به میله‌ای آهنی با پتک ضربه می‌زنیم. صدای این ضربه در هوا با سرعت $340\frac{m}{s}$ و در میله با سرعت $5100\left(\frac{m}{s}\right)$ منتقل می‌شود. اگر ناظری که در طرف دیگر میله ایستاده است، تفاوت زمان رسیدن دو صوت را $1.4(s)$ اعلام کند میله‌ی آهنی چند متر است؟ (تألیفی اندیشه سازان)

x = طول میله ، t_1 = زمان رسیدن صوت از هوا ، t_2 = زمان رسیدن صوت از میله

$$t_1 = \frac{x}{340}$$
$$t_2 = \frac{x}{5100}$$
$$t_1 - t_2 = 1.4$$

$$1.4 = \frac{x}{340} - \frac{x}{5100} = x\left(\frac{15-1}{5100}\right) \Rightarrow x = 510\,m$$

(20) سرعت صوت در هیدروژن صفر درجه‌ی سلسیوس n برابر سرعت صوت در اکسیژن 273 درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. در این صورت اندازه‌ی n چقدر است؟

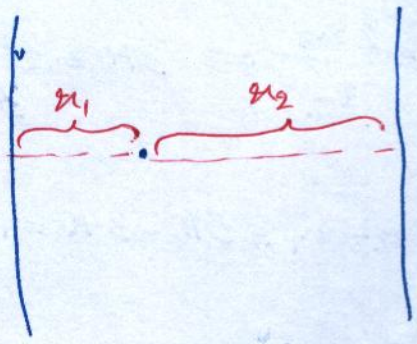
$$\frac{V_{H_2}}{V_{O_2}} = \sqrt{\frac{T_{H_2}}{T_{O_2}}} \times \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 4 = 2\sqrt{2}$$

(12) یک منبع صوتی بین دو مانع قرار دارد به طوری که صوت منبع در اثر برخورد با هر کدام از موانع نزدیک‌تر 2(s) و از مانع دورتر 4(s) طول می‌کشد تا به محل منبع برسد. اگر سرعت صوت در محیط $340\left(\frac{m}{s}\right)$ باشد، فاصله‌ی دو مانع چند متر است؟

رفت و برگشت

$t_1 = \frac{2}{2} = 1\,(s)$ $\quad x_1 = V_1 \cdot t_1 = 340$

$t_2 = \frac{4}{2} = 2(s)$ $\quad x_2 = V_2 \cdot t_2 = 680$



فاصله‌ی دو منبع $\Rightarrow x_1 + x_2 = 340 + 680 = 1020$

(13) طول لوله‌ی صوتی بازی را نصف می‌کنیم و انتهای آن را می‌بندیم. نسبت فرکانس صوت اصلی لوله‌ی بسته به فرکانس صوت اصلی لوله‌ی باز اولیه چند می‌باشد؟

بسته $L' = \frac{L}{2}$ $\quad$ باز

$f_1^{\text{باز}} = \frac{V}{2L}$

$f_1^{\prime\,\text{بسته}} = \frac{V}{4L'} = \frac{V}{2L}$ $\Rightarrow$ $\frac{f_1}{f_1'} = 1$

(14) فرکانس صوت اصلی یک لوله‌ی صوتی بسته و یک لوله‌ی صوتی باز هرکدام 600 هرتز است. اگر دو لوله را به انتهای هم وصل کنیم و لوله‌ی صوتی بلندتری درست نماییم فرکانس صوت اصلی آن چند هرتز می‌شود؟

باز $L = 2L'$ بسته

$L'' = L + L' = 3L'$

$\frac{f_1'}{f_1''} = \frac{L''}{L'} \Rightarrow \frac{600}{f_1''} = \frac{3L'}{L'} = 3 \Longrightarrow f_1'' = 200$

(15) دامنه‌ی ارتعاشی صوتی را 8 برابر و بسامد آن را 125 برابر می‌کنیم. تراز شدت صوت نسبت به حالت اول چند دسی بل افزایش می‌یابد؟

$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 = 8^2 \times 125^2 = 10^6$

$\beta = 10 \log 10^6 = 60$

(16) لوله‌ی بازی به طول 65 cm که در مقابل دهانه‌ی آن دیاپازونی با بسامد 700 هرتز در حال ارتعاش می‌باشد را در نظر می‌گیریم. بیستون موجود در لوله چند cm باید جابجا گردد تا ارتعاشات دیاپازون به وسیله‌ی لوله برای اولین بار تشدید گردد؟ (سرعت صوت در هوای داخل لوله $350 \left(\frac{m}{s}\right)$ است)

در اثر تشدید بسامد دیاپازون همانطور که سؤال گفته است، با اولین بار برابر می‌شود.

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

$700 = \frac{350}{4L}$

$L = \frac{1}{8} m \times 100 = 12.5 \text{ cm}$

(17) یک منبع مولد صوت بین دو شنونده ی ساکن در حال حرکت است. اگر نسبت فرکانس های صوت شنیده شده توسط دو شنونده $\frac{9}{8}$ باشد، سرعت منبع مولد صوت چند $(\frac{m}{s})$ است؟ (سرعت صوت در محیط $340(\frac{m}{s})$ می باشد)

$$\frac{f_0}{f_0'} = \frac{V+V_s}{V-V_s} \Rightarrow \frac{9}{8} = \frac{340+V_s}{340-V_s} \Rightarrow V_s = 20$$

(18) شخصی همراه با منبع مولد صوت که فرکانس ارتعاشی منبع 680 هرتز می باشد با سرعت $5(\frac{m}{s})$ از دیوار قائم بلندی دور می گردد. فرکانس صوت دریافتی توسط شخص در اثر بازتابش از دیوار چند هرتز می باشد؟ (سرعت صوت در محیط $335(\frac{m}{s})$ می باشد)

$$f_0 = \frac{V-V_s}{V+V_s} f_s = \frac{335-5}{335+5} \times 680 = 660$$

(19) یک آمبولانس و یک اتومبیل هر یک با سرعت $30(\frac{m}{s})$ در یک خیابان مستقیم حرکت می کنند. اگر بسامد صوت مربوط به آژیر آمبولانس 1000 هرتز باشد، بیشترین و کمترین بسامدی که ممکن است راننده ی اتومبیل بشنود، چند هرتز است؟ (سرعت صوت در هوا $330(\frac{m}{s})$ فرض گردد)

نزدیک $\begin{cases} V_s = +30 \\ V_0 = -30 \end{cases}$ دور $\begin{cases} V_s = -30 \\ V_0 = +30 \end{cases}$

نزدیک: $\frac{f_0}{f_s} = \frac{V-V_0}{V-V_s} \Rightarrow \frac{f_0}{1000} = \frac{330+30}{330-30} = \frac{360}{300} \Rightarrow f_0 = 1200$

دور: $\frac{f_0}{f_s} = \frac{V-V_0}{V-V_s} \Rightarrow \frac{f_0}{1000} = \frac{330-30}{330+30} = \frac{300}{360} \Rightarrow f_0 = \frac{2500}{3}$