قسمت اول: بررسی حرکت هماهنگ ساده سامانه جرم-فنر

مفاهیم اولیه حرکت هماهنگ ساده

نوسان‌های دوره‌ایی: نوسان‌هایی را که هر دور آن دقیقاً در دورهای بعد تکرار می‌شود (مانند ضربان قلب انسان در یک وضعیت)، نوسان‌های دوره‌ای می‌نامیم؛ که به هر دور آن چرخه یا سیکل گفته می‌شود.

دوره تناوب: مدت‌زمان یک چرخه، دوره تناوب یک نوسان دوره‌ای نامیده می‌شود و آن را با حرف T نمایش می‌دهیم. بدیهی است یکای دوره تناوب در SI ثانیه (S) است.

نکته: اگر در یک نوسان دوره‌ایی n چرخه در مدت t انجام شود برای بدست آورن دوره تناوب این حرکت به صورت زیر عمل می‌نماییم: $T = \frac{t}{n}$

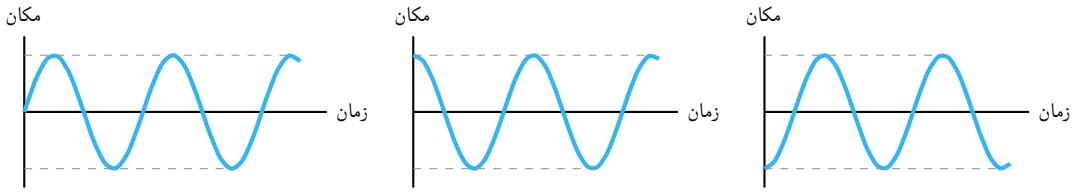
بسامد (فرکانس): تعداد نوسان‌های کامل (تعدادچرخه) انجام شده در واحد زمان را بسامد (فرکانس) می‌نامیم و آن را با حرف f نمایش می‌دهیم. با توجه به تعریف این کمیت، بسامد و دوره تناوب عکس یکدیگرند. یعنی: $f = \frac{1}{T}$

یکای بسامد در SI هرتز (Hz) است. باتوجه به رابطه بالا هرتز عکس ثانیه است.

نمودار مکان-زمان در نوسان‌های دوره‌ای: نمودار مکان-زمان در نوسان‌های دورهای، نموداری است که در آن‌یک الگو در حال تکرار شدن است. با توجه به تعریف دوره تناوب، مدت‌زمانی که این الگو تکرار می‌شود، همان دوره حرکت است.

حرکت هماهنگ ساده(SMH): نوسان‌هایی که به‌طور سینوسی رخ می‌دهند، حرکت هماهنگ ساده نام دارند. به‌عبارت‌دیگر نمودار مکان-زمان این نوع نوسان‌ها، سینوسی است.

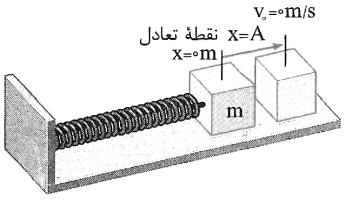
تذکر: تمام نمودارهای زیر، نمونه‌هایی از یک حرکت هماهنگ ساده است. تفاوت این نمودارها، فقط در این است که در لحظه $t = 0$، نوسانگر در مکانی متفاوت قرار داشته است. بقیه نمودار و تغییرات مکان آن‌ها مانند هم هستند.



نکته: نوسان‌های سینوسی مهم‌ترین نوع نوسان‌ها هستند؛ زیرا هر نوسان دوره‌ای دیگر را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از نوسان‌های سینوسی در نظر گرفت.

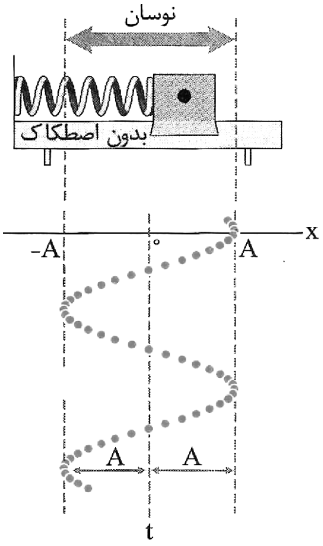
از معروف‌ترین حرکت‌های هماهنگ ساده، می‌توان به حرکت جسمی که یک فنر به آن متصل است و با آن نوسان می‌کند و یا حرکت آونگ با دامنه کم، اشاره کرد. در ادامه به بررسی این حرکت‌ها می‌پردازیم.

بررسی حرکت جسم متصل به فنر (دستگاه جرم-فنر)



اگر مطابق شکل، روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، جسم متصل به فنری را به‌اندازه چند سانتی‌متر بکشیم و رها کنیم، یک حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. پاره‌خطی را که جسم، روی آن حرکت نوسانی دارد، محور x ها و حالت تعادل جرم و فنر را مبدأ می‌گیریم. حال اگر جسم مطابق شکل از A رها شود، در طرف دیگر

حداکثر تا $-A$ رفته، متوقف می‌شود و برمی‌گردد تا دوباره در A متوقف‌شده و برگردد. این کار به‌طور دائم تکرار می‌شود.



دامنه حرکت: بیشینه جابه‌جایی نسبت به نقطه تعادل را دامنه حرکت می‌نامند. به‌عبارت‌دیگر در شکل بالا دامنه حرکت است.

نکته: طول پاره‌خطی که جسم روی آن حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد، دو برابر دامنه حرکت است.

دوره تناوب: در این نوع حرکت، زمان یک رفت‌وبرگشت را دوره تناوب میگوییم. به‌عبارت‌دیگر، جسم از Aشروع به حرکت می‌کند، در $-A$ برمی‌گردد و دوباره به A می‌رسد. زمان کل این حرکت همان دوره تناوب است. همان‌طور که از قبل میدانیم، دوره تناوب را با T نمایش می‌دهند و عکس آن بسامد $(f = \frac{۱}{T})$ است.

بسامد زاویه‌ای: بسامد زاویه‌ای به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\omega = ۲\pi f \qquad \text{یا} \qquad \omega = \frac{۲\pi}{T}$$

یکای بسامد زاویه‌ای در SI رادیان بر ثانیه (rad/s) است. هر چه بسامد زاویه‌ای بزرگ‌تر باشد، مفهوم آن این است که نوسان‌ها سریع‌تر رخ می‌دهند.

بررسی سرعت نوسانگر درحرکت هماهنگ ساده

اگر دستگاه جرم-فنر را که روی سطح افقی نوسان می‌کند مورد بررسی قرار دهیم، مشخص است که تندی نوسانگر در مکان‌های صفر است؛ به همین علت به این نقطه‌ها، نقطه‌های بازگشت حرکت گفته می‌شود. از طرفی هر چه نوسانگر به نقطه تعادل نزدیک‌تر می‌شود، تندی آن افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که تندی جسم هنگام عبور از نقطه تعادل، بیشینه است.

بررسی نیرو و شتاب در دستگاه جرم-فنر

اگر جسمی به یک فنر متصل باشد و فنر نسبت به حالت آزاد خود (واهلیده خود) به‌اندازه X تغییر طول داشته باشد، طبق قانون هوک اندازه نیرویی که به جسم وارد می‌شود $F = kx$ است.

معادله حرکت هماهنگ ساده

معادله حرکت هماهنگ ساده را می‌توان به‌صورت سینوسی یا کسینوسی نوشت. اگر در لحظه $t = ۰$ نوسانگر در مکان $x = +A$ باشد، معادله حرکت آن به‌صورت مقابل است: $x = A\cos\omega t$

در این رابطه، x مکان متحرک در لحظه t، A دامنه حرکت، بسامد زاویه‌ای برحسب رادیان بر ثانیه (rad/s) و t زمان برحسب ثانیه است.

نکته: با توجه به رابطه بالا، شناسه تابع کسینوس برحسب رادیان است.

چگونه فاز حرکت نوسانگر را در یک‌لحظه مشخص کنیم؟

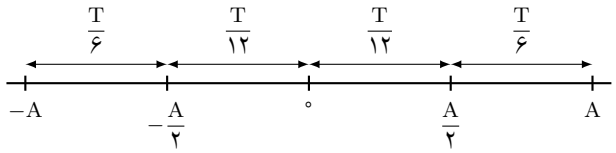
قدم اول: با استفاده از مکان جسم و معادله حرکت، ابتدا زاویه مربوط به مکان جسم با محور x ها را پیدا می‌کنیم که اغلب می‌توان ذهنی آن را پیدا کرد. $x = A\cos\theta \Rightarrow \cos\theta = \frac{x}{A}$

قدم دوم: با توجه به علامت سرعت یا شتاب و یا نوع حرکت نوسانگر، ناحیه‌ای را که فاز در آن قرار دارد، مشخص می‌کنیم.

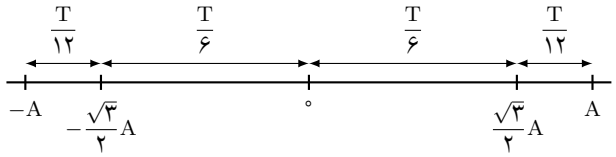
بررسی مدت زمان در جابه‌جایی‌های خاص

ازآنجایی‌که در اغلب تست‌ها جابه‌جایی‌ها بین نقطه‌های خاصی انجام می‌شود، می‌توانیم زمان این جابه‌جایی را حفظ کنیم و سریع‌تر به پاسخ تست برسیم. البته می‌توان در هر جابه‌جایی ابتدا تغییر فاز را به دست آورده و از روی آن به‌طور ذهنی مدت‌زمان را حساب کنیم. مثلاً وقتی نوسانگر مستقیم و بدون تغییر جهت از نقطه $x = 0$ تا $x = \frac{A}{2}$ برود، فاز حرکت آن از $\theta_1 = 90^\circ$ به $\theta_2 = 60^\circ$ رسیده و تغییر فاز آن 30° که $\frac{1}{12}$ کل دایره است. بنابراین مدت‌زمان آن $\frac{T}{12}$ خواهد شد. حالت‌ها به‌صورت زیر خواهند شد:

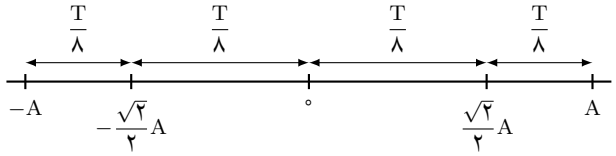
۱. نوسانگر فاصله ۰ تا $\pm\frac{A}{2}$ را در مدت $\frac{T}{12}$ طی می‌کند، زیرا فاز حرکت در این مدت 30° تغییر می‌کند و فاصله $\frac{A}{2}$ تا A را در مدت $\frac{T}{6}$ طی می‌کند. زیرا فاز حرکت 60° تغییر می‌کند.



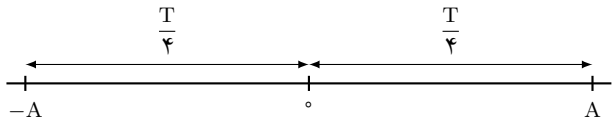
۲. نوسانگر فاصله ۰ تا $\pm\frac{\sqrt{3}}{2}A$ را در مدت $\frac{T}{6}$ طی می‌کند، زیرا فاز حرکت 60° تغییر می‌کند و فاصله $\frac{\sqrt{3}}{2}A$ تا A را در مدت $\frac{T}{12}$ طی می‌کند. زیرا فاز حرکت 30° تغییر می‌کند.



۳. نوسانگر فاصله ۰ تا $\pm\frac{\sqrt{2}}{2}A$ و یا همین طور $\frac{\sqrt{2}}{2}A$ تا A را در مدت $\frac{T}{8}$ طی می‌کند، زیرا تغییرات فاز در هر کدام 45° است.



۴. تغییرات فاز در جابه‌جایی از ۰ تا $\pm A$، 90° بوده و این جابه‌جایی در مدت $\frac{T}{4}$ انجام می‌شود،



تست‌های این بخش:

تست ۱) معادله مکان-زمان حرکت هماهنگ ساده یک نوسانگر در SI به‌صورت $x = 0/04\cos 60\pi t$ است. این نوسانگر در هر دقیقه چند نوسان انجام می‌دهد؟

۱) ۶۰۰ ۲) ۱۲۰۰ ۳) ۱۸۰۰ ۴) ۲۴۰۰

پاسخ:

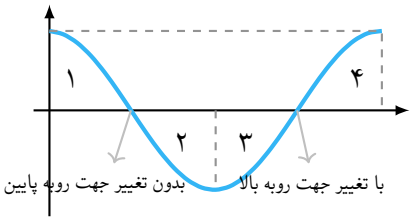
$x = A\cos(\omega t)$

سرعت متوسط نوسانگر

اگر در تستی یا سؤالی بیشینه مسافت یا بیشینه جابجایی یا بیشینه سرعت متوسط خواسته شود کافی است از دو قانون زیر استفاده نمایید:

قانون ۱ زمان داده‌شده را به دو قسمت مساوی تقسیم کنید. $\frac{t}{2}$ قبل از نقطه O و $\frac{t}{2}$ بعد از نقطه O

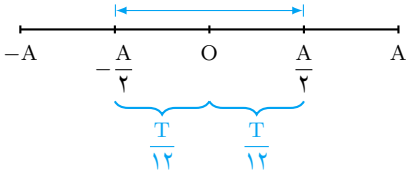
قانون ۲ متحرک نباید تغییر جهت بدهد یعنی باید از ربع اول به دوم یا از سوم به چهارم حرکت داشته باشد.



نکته: محاسبه بیشترین جابه‌جایی و مسافت طی شده با سرعت متوسط توسط نوسانگر در مدت‌زمانی همچون t.

آ. سرعت متوسط و جابه‌جایی و مسافت بیشینه متحرک در $\frac{t}{6}$ ثانیه به چه صورت بدست می آید؟

پاسخ: زمان داده‌شده را نصف می‌کنیم و نصف آن را بعد از O و نصف دیگر را قبل از O قرار می‌دهیم. $\frac{\frac{T}{6}}{2} = \frac{T}{12}$

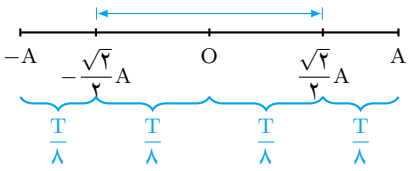


$$\Delta x_{max} = \ell = \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 2(\frac{A}{2}) = A$$

$$V_{max} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{A}{2(\frac{T}{12})} = \frac{A}{\frac{T}{6}} = \frac{6A}{T}$$

ب. سرعت متوسط و جابه‌جایی و مسافت بیشینه متحرک در $\frac{t}{6}$ ثانیه به چه صورت بدست می آید؟

پاسخ: زمان داده‌شده را نصف می‌کنیم و نصف آن را بعد از O و نصف دیگر را قبل از O قرار می‌دهیم. $\frac{\frac{T}{4}}{2} = \frac{T}{8}$

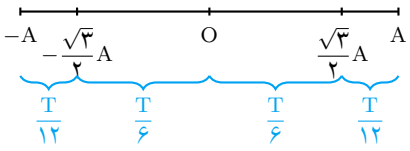


$$\Delta x_{max} = \ell = \frac{\sqrt{2}}{2}A + \frac{\sqrt{2}}{2}A = 2(\frac{\sqrt{2}}{2}A) = \sqrt{2}A$$

$$V_{max} = \frac{\Delta x_{max}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2}A}{2(\frac{T}{8})} = \frac{\sqrt{2}A}{\frac{T}{4}} = \frac{4\sqrt{2}A}{T}\frac{m}{s}$$

ج. سرعت متوسط و جابه‌جایی و مسافت بیشینه متحرک در $\frac{t}{3}$ ثانیه به چه صورت بدست می آید؟

پاسخ: زمان داده‌شده را نصف می‌کنیم و نصف آن را بعد از O و نصف دیگر را قبل از O قرار می‌دهیم $\frac{\frac{T}{3}}{2} = \frac{T}{6}$



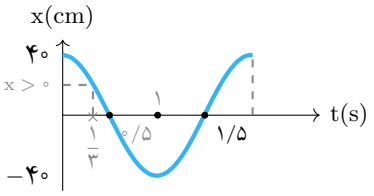
$$\Delta x_{max} = \ell = \frac{\sqrt{3}}{2}A + \frac{\sqrt{3}}{2}A = 2(\frac{\sqrt{3}}{2}A) = \sqrt{3}A$$

$$V_{max} = \frac{\Delta x_{max}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{3}A}{\frac{T}{3}} = \frac{3\sqrt{3}A}{T}\frac{m}{s}$$

$$x = A\cos(\omega t) = \frac{۴}{۱۰۰}\cos(\pi t) = \frac{۴}{۱۰}\cos(\pi t) \rightarrow x = \frac{۴}{۱۰}\cos(\pi \times \frac{۱}{۳}) \rightarrow x = \frac{۴}{۱۰}\cos(\frac{\pi}{۳}) = \frac{۴}{۱۰} \times \frac{۱}{۲}$$

$$\Longrightarrow x = \frac{۲}{۱۰}m \quad , \quad F = kx = ۱۰۰ \times \frac{۲}{۱۰} = ۲۰N$$

توجه کنید نیرو با مکان قرینه است، هرگاه نیرو مثبت است مکان منفی و برعکس $\frac{۱}{۳}$ ثانیه همان ۰/۳۳s می‌باشد که این مقدار از ۰/۵ کوچکتر است و در نمودار ما زمان‌های کمتر از نیم ثانیه در ربع اول قرار دارند و در آنجا مکان مثبت است.



$$x > ۰ \rightarrow F < ۰ \rightarrow F = -۲۰N$$

راه دوم سعی کنید نسبت $\frac{t}{T}$ را محاسبه کنید آنگاه می‌توان به نسبت نیرو به نیروی بیشینه نیز دست یافت.

$$\frac{t}{T} = \frac{\frac{۱}{۳}}{۲} = \frac{۱}{۶} \rightarrow T = \frac{۱}{۶}T = \frac{T}{۶} \rightarrow \phi = \frac{\pi}{۳}$$

$$\phi = \frac{\pi}{۳} \rightarrow x = \frac{۱}{۲}A, a = \frac{۱}{۲}a_{max}, F = \frac{۱}{۲}F_{max}$$

$$F = \frac{۱}{۲}F_{max} = \frac{۱}{۲}kA = \frac{۱}{۲} \times \cancel{۱۰۰} \times \frac{۴۰}{\cancel{۱۰۰}} = ۲۰N \xrightarrow[F<۰]{x>۰} F = -۲۰N$$

عوامل مؤثر بر دوره تناوب سامانه‌ی جرم–فنر

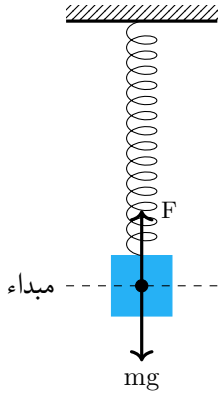
بسامد زاویه‌ای، درنتیجه دوره‌ی تناوب حرکت هماهنگ ساده‌ی سامانه‌ی جرم–فنر به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \xrightarrow{\omega = \frac{۲\pi}{T}} T = ۲\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$$

در این روابط m جرم متصل به فنر برحسب کیلوگرم (kg) و k ثابت فنر برحسب نیوتن بر متر (N/m) است.

نکته: همان‌طور که در روابط بالا مشاهده می‌کنید، دامنه‌ی نوسان روی دوره‌ی حرکت بی‌تأثیر است.

بررسی دوره‌ی تناوب سامانه‌ی جرم–فنر در نوسان قائم



اگر نوسان سامانه‌ی جرم–فنر در راستای قائم انجام شود، بازهم مرکز نوسان، که ما آن را مبدأ در نظر می‌گیریم، نقطه‌ی تعادل سامانه است. مثلاً در شکل مقابل یک جسم به یک فنر سبک بسته‌شده و فنر از سقف آویزان و مجموعه در تعادل است. اگر از این حالت وزنه را بالای یا پایین برده و بدون تندی اولیه رها کنیم، این نقطه مرکز پاره‌خطی است که جسم روی آن نوسان می‌کند ما این نقطه را به‌عنوان مبدأ انتخاب می‌کنیم. بازهم می‌توان اثبات کرد، تمام روابط این حرکت از همان رابطه‌های قبلی به دست می‌آید. مثلاً دوره تناوب آن به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

نکته:اگر طول واهلیده‌ی فنر (طول آزاد فنر) را $L_۱$ و طول فنر در زمانی که جرم m به آن آویخته شده ولی مجموعه در تعادل است را با $L_۲$ نمایش دهیم. با توجه به دینامیک می‌توان نوشت:

تست ۹) وزنه‌ای به جرم ۰/۲۵کیلوگرم به فنر سبکی با ثابت $۱۰\frac{N}{m}$ بسته‌شده و روی سطح افقی بدون اصطکاکی، حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد.اگر دامنه نوسان آن برابر با ۵cm باشد، تندی وزنه در نقطه‌ی تعادل چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱ ۲) ۰/۱ ۳) ۱۰ ۴) ۱۰۰

پاسخ:

$$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{\frac{۱۰۰}{\frac{۲۵}{۱۰۰}}}=\sqrt{\frac{۱۰۰\times۱۰۰}{۲۵}}=\frac{۱۰\times۱۰}{۵}\Rightarrow\omega=\frac{۱۰۰}{۵}=۲۰\frac{Rad}{s}$$

$$V_{max}=A\omega=\frac{۵}{۱۰۰}\times۲۰=\frac{۱۰۰}{۱۰۰}=۱\frac{m}{s}$$

تست ۱۰) نوسانگری روی پاره‌خطی به طول ۶cm حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. اگر مسافت طی شده توسط نوسانگر در هر دقیقه ۲۴۰cm باشد، بیشینه‌ی تندی نوسانگر چند سانتی‌متر بر ثانیه است؟

۱) ۱۲π ۲) ۱۸π ۳) ۴π ۴) ۲π

پاسخ: مسافت بیان‌شده در یک دوره: $۴A=۴\times۳=۱۲cm$

$$\frac{\ell}{۴A}=\frac{۲۴۰}{۱۲}=۲۰\text{(این یعنی متحرک ۲۰ دور پیموده است)}\quad,\quad n=\frac{t}{T}\Rightarrow t=nT\rightarrow۶۰=۲۰T\Rightarrow T=۳s$$

$$V_{max}=A\omega=\frac{۳}{۱۰۰}\times\frac{۲\pi}{T}=\frac{۳}{۱۰۰}\times\frac{۲\pi}{۳}=\frac{۲\pi}{۱۰۰}\frac{m}{s}=۲\pi\frac{cm}{s}$$

تست ۱۱) دامنه‌ی یک نوسانگر وزنه–فنر ۴cm است. اگر جرم وزنه ۲۰gr و ثابت فنر $۳۲\frac{N}{m}$ باشد، بیشینه‌ی سرعت نوسانگر چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۰/۴ ۲) ۰/۸ ۳) ۱/۲ ۴) ۱/۶

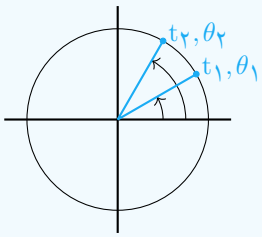
پاسخ:

$$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{\frac{۳۲}{۲۰\times۱۰^{-۳}}}=\sqrt{\frac{۳۲\times۱۰^{۳}}{۲۰}}=\sqrt{۱۶\times۱۰۰}\Rightarrow\omega=۴\times۱۰=۴۰\frac{Rad}{s}$$

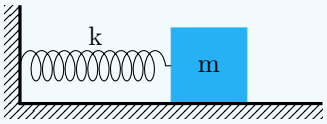
$$V_{max}=A\omega=\frac{۴}{۱۰۰}(۴۰)=۱/۶\frac{m}{s}$$

نکاتی در مورد بسامد زاویه‌ایی:

بسامد زاویه‌ای سرعت تغییر زاویه در مدت‌زمانی مانند Δt است. هرچه سرعت تغییر زاویه افزایش یابد بسامد زاویه‌ای نیز افزایش می‌یابد این کمیت فیزیکی از تغییرات زاویه بر زمان $\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ یا از نسبت ثابت فنر بر جرم متصل به فنر حاصل می‌شود.

$\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 

⟶ آهنگ تغییر زاویه



$$\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{\frac{\text{ثابت فنر}}{\text{جرم متصل به فنر}}}=\frac{Rad}{s}$$

قسمت سوم: انرژی در حرکت هماهنگ ساده

بررسی روابط انرژی در حرکت هماهنگ ساده

انرژی پتانسیل:

در سامانه جرم–فنر، هرگاه فنر در حالت واهلیده‌ی خود، کشیده یا فشرده شود، در این سامانه انرژی پتانسیل کشسانی به وجود می‌آید. درحرکت هماهنگ ساده نیز، انرژی پتانسیل سامانه جرم–فنرهمین انرژی است که آن را با حرف U نشان می‌دهیم.

نکته: در سامانه جرم–فنر، هرچه جرم از مبدأ دورتر باشد، کشیدگی یا فشردگی فنر بیشتر و درنتیجه انرژی پتانسیل سامانه بیش‌تر است.

انرژی جنبشی:

با توجه به مطالب کتاب فیزیک دهم، انرژی جنبشی جسم متصل به فنر، درحرکت هماهنگ ساده از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$k = \frac{۱}{۲}mv^۲$$

در این رابطه، m جرم برحسب کیلوگرم (kg)، v تندی جسم متصل به فنر برحسب متر بر ثانیه (m/s) و k انرژی جنبشی جسم متصل به فنر برحسب ژول (J) است.

انرژی مکانیکی:

مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل دستگاه جرم–فنر برابر انرژی مکانیکی این دستگاه است. همان‌طورکه از کتاب دهم به خاطر دارید، انرژی مکانیکی دستگاهی که اتلاف انرژی نداشته باشد، ثابت است. پس درحرکت هماهنگ ساده نیز این انرژی مقدار ثابتی است. در سامانه جرم–فنر، انرژی مکانیکی از رابطه مقابل به دست می‌آید:

$$E = \frac{۱}{۲}kA^۲$$

در این رابطه، K ثابت فنر برحسب نیوتون بر متر (N/m)، A دامنه‌ی حرکت برحسب متر (m) و E انرژی مکانیکی دستگاه برحسب ژول (J) است.

اثبات رابطه $v_{max} = A\omega$

در قسمت‌های قبل از رابطه $v_{max} = A\omega$ استفاده کرده بودیم. در این قسمت می‌خواهیم این رابطه را اثبات کنیم. هنگامی‌که نوسانگر در حال عبور از مبدأ (نقطه تعادل) است، تمام انرژی مکانیکی آن از نوع انرژی جنبشی است و انرژی پتانسیل آن صفر است. در این لحظه نوسانگر بیشینه تندی خود را داراست. بنابراین می‌توان نوشت:

$$E = K + \cancel{U}^{۰} \xrightarrow{\text{بیشینه تندی نوسانگر در } x=۰ \text{ است.}} \frac{۱}{۲}kA^۲ = \frac{۱}{۲}mv_{max}^۲$$

$$v_{max}^۲ = \frac{k}{m}A^۲ \rightarrow v_{max} = \sqrt{\frac{k}{m}}A \xrightarrow{\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}} v_{max} = A\omega$$

بررسی نسبت انرژی‌ها در حرکت هماهنگ ساده

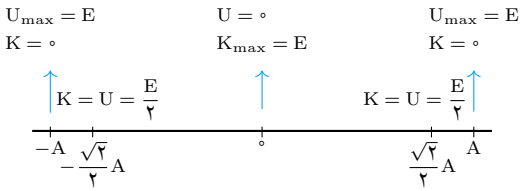
اگر بیشینه تندی نوسانگر هماهنگ ساده v_{max} و در یک نقطه از مسیر حرکتش تندی آن باشد، می‌توان نسبت انرژی‌ها را

در این نقطه به‌صورت زیر نوشت:

$$\frac{K}{E}=\frac{\frac{۱}{۲}mv^{۲}}{\frac{۱}{۲}mv_m^{۲}}\rightarrow\frac{K}{E}=\left(\frac{V}{V_m}\right)^{۲}$$

$$\frac{U}{E}=\frac{E-K}{E}=\frac{\frac{۱}{۲}mv_m^{۲}-\frac{۱}{۲}mv^{۲}}{\frac{۱}{۲}mv_m^{۲}}\rightarrow\frac{U}{E}=۱-\left(\frac{v}{v_m}\right)^{۲}$$

مقایسه انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل نوسانگر حرکت هماهنگ ساده در نقاط مختلف:



انرژی مکانیکی در تمام نقاط مسیر نوسان یکسان است. ولی انرژی‌های جنبشی و پتانسیل نوسانگر در نقاط مختلف متفاوت هستند و تغییر می‌کنند.

در دامنه‌ها کل انرژی مکانیکی از نوع انرژی پتانسیل و در مبدأ تمام انرژی مکانیکی از نوع انرژی جنبشی است و در $x=\pm\frac{\sqrt{۲}}{۲}A$ ، نیمی از انرژی مکانیکی، انرژی جنبشی و نیم دیگر آن انرژی پتانسیل نوسانگر است.(اثبات این موضوع را جلوتر می‌خوانیم).

مقایسه انرژی‌های نوسانگر در دایره مرجع

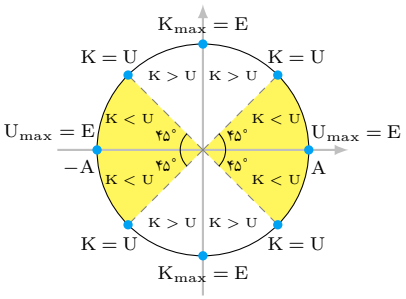
با توجه به دایره‌مرجع زیر :

۱) در هر ربع مثلثاتی وقتی فاز حرکت با محورxها زاویه ۴۵° بسازد، $K=U$ است.

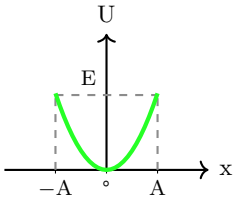
۲) برای زاویه‌های کوچک‌تر از ۴۵° نسبت به محورxها (قسمت‌های رنگی) $K<U$ است.

۳) برای زاویه‌های بزرگ‌تر از ۴۵° نسبت به محورxها، $K>U$ است.

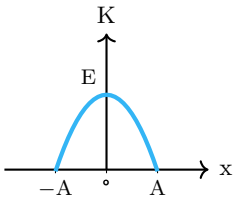
۴) اگر حرکت نوسانگر از $x=+A\ (\theta=۰)$ شروع شود، در لحظه‌هایی برابر با ضریب فرد $\frac{T}{۸}$ یعنی $t=\frac{T}{۸},\frac{۳T}{۸},\frac{۵T}{۸},...$ ،انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل نوسانگر با هم برابر می شوند.



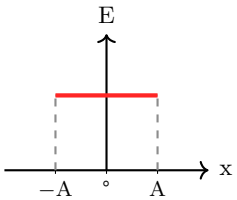
نمودارهای انرژی نوسانگر بر حسب مکان آن



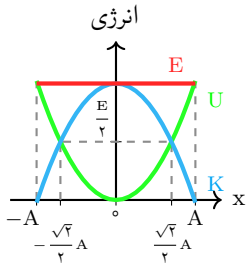
۱) **نمودار انرژی پتانسیل نوسانگر برحسب مکان:** این نمودار، یک سهمی مطابق شکل مقابل است . توجه کنید که در $x=\pm A$، انرژی پتانسیل نوسانگر بیشینه و برابر انرژی مکانیکی و از طرفی در $x=۰$، $U=۰$ است.



۲) **نمودار انرژی جنبشی نوسانگر برحسب مکان:** این نمودار یک سهمی مطابق شکل خواهد شد. همان‌طور که می‌بینید در $x=۰$، انرژی جنبشی بیشینه و برابر انرژی مکانیکی نوسانگر و از طرفی در $x=\pm A$، $k=۰$ است.



۳) **نمودار انرژی مکانیکی نوسانگر برحسب مکان:** مطابق شکل مقابل و با توجه به پایستگی انرژی مکانیکی، در تمام نقاط مسیر، انرژی مکانیکی ثابت است.



اگر این سه نمودار را در یک دستگاه رسم کنیم به‌صورت شکل مقابل خواهند شد.
توجه کنید که در نقطه‌های $x=\pm\frac{\sqrt{۲}}{۲}A$، $K=U=\frac{E}{۲}$ شده است.

اثبات این‌که در $x=\pm\frac{\sqrt{۲}}{۲}A$، $K=U=\frac{E}{۲}$ است:

نمودارهای K و U برحسب مکان (X)، به‌صورت سهمی هستند. با توجه به شکل آن‌ها $U\propto x^۲$ و $K\propto A^۲-x^۲$ است. بنابراین هنگامی‌که $K=U$ باشد، می‌توان نوشت:

$$K=U\Rightarrow A^۲-x^۲=x^۲\Rightarrow ۲x^۲=A^۲\Rightarrow x=\pm\frac{\sqrt{۲}}{۲}A$$

تست‌های این بخش:

تست ۱) اگر در لحظه‌ای که انرژی جنبشی نوسانگر هماهنگ ساده‌ای $\frac{۱}{۴}$ انرژی مکانیکی آن است،انرژی پتانسیل نوسانگر ۰/۱۸j باشد، انرژی مکانیکی نوسانگر چند ژول است؟

۱) ۰/۷۳ ۲) ۰/۳۶ ۳) ۰/۲۴ ۴) ۰/۵۴

پاسخ: وقتی $k=\frac{۱}{۴}E$ است پس خواهیم داشت $U=\frac{۳}{۴}E$

$$U=\frac{۳}{۴}E\rightarrow\frac{۱۸}{۱۰۰}=\frac{۳}{۴}E\rightarrow E=\frac{۶\times۴}{۱۰۰}\Rightarrow E=\frac{۲۴}{۱۰۰}j$$

تشدید

بسامد طبیعی هرگاه یک نوسانگر ساده را به حرکت درآوریم و خودش نوسان کند، بسامد حرکت آن را بسامد طبیعی می‌نامیم. مثلاً درحرکت آونگ ساده بسامد طبیعی عکس دوره تناوب آونگ بوده و از رابطه $f=\frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ به دست می‌آید. همان‌طور که قبلاً گفته شد، بسامد طبیعی به مشخصات ساختمانی نوسانگر بستگی دارد.

نکته: به علت وجود نیروهای مقاوم، اغلب نوسان‌های طبیعی پس از مدتی متوقف می‌شوند. در این حالت می‌گوییم نوسان میرا است. مثلاً اگر کسی که سوار برتاب است را به‌یک‌باره هل دهیم و سپس بگذاریم آزادانه نوسان کند، پس از مدتی حرکت آن متوقف می‌شود.

نوسان واداشته اگر به نوسانگر نیروی خارجی دوره‌ای اعمال شود نوسانگر، بسامدی مستقل از بسامد طبیعی نیز پیدا می‌کند که آن را با نمایش می‌دهیم به این حرکت نوسان واداشته گفته می‌شود.

سوال: در چه صورت پدیده تشدید رخ می دهد؟ هر گاه بسامد نوسان واداشته برابر با بسامد طبیعی نوسانگر شود $(f_۰ = f_d)$،

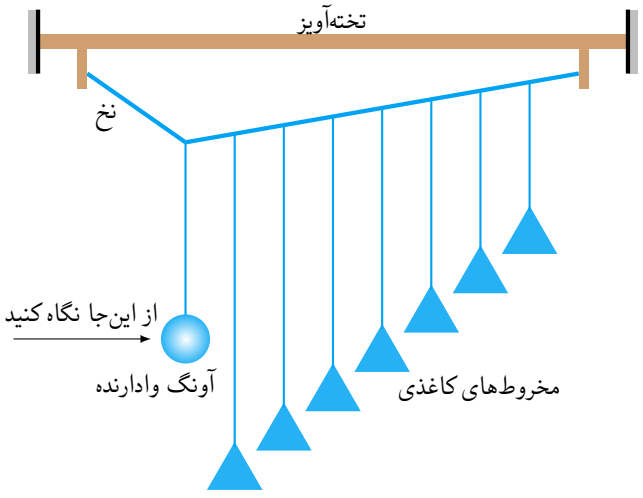
آونگ‌های بارتون

مطابق شکل، نخی را به تخته آویز می‌بندیم. سپس تعدادی آونگ با وزنه سبک با طول‌های متفاوت و یک آونگ با وزنه سنگین به آن می‌بندیم، با به نوسان درآوردن آونگ سنگین(آونگ وادارنده)، در صفحه عمود بر صفحه شکل، نخ آویز تاب‌خورده و بقیه آهنگ‌ها را به نوسان وامی‌دارد.

در این صورت:

۱) اگر بسامد طبیعی آونگ سبک در محدوده بسامد واداشته باشد، دامنه نوسان آن‌ها افزایش می‌یابد و با دامنه بزرگی نوسان می‌کنند. اصطلاحاً در این حالت گفته می‌شود این آونگ‌ها برای تشدید کوک شده‌اند.

۲) اگر بسامد طبیعی آونگ‌ها در محدوده بسامد واداشته نباشد، این آونگ‌ها یا ساکن می‌مانند و یا با دامنه بسیار کوچکی نوسان می‌کنند.



قسمت پنجم: معرفی موج

مفاهیم اولیه موج

موج: هرگاه ارتعاشی در ناحیه‌ای از یک محیط کسشان به وجود آید، موجب پدید آمدن ارتعاش‌های پی‌درپی دیگری می‌شود و انرژی در محیط منتشر می‌شود.به‌این‌ترتیب موج پدید می‌آید.

انتشار موج: انتقال همراه با تأخیر حرکت نوسانی از نقطه‌ای از محیط به نقطه‌ی دیگر در محیط را انتشار موج می‌نامیم.

انواع موج در فیزیک کلاسیک:

موج مکانیکی: این موج‌ها برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند، مانند موج‌های صوتی یا موج‌های روی سطح آب. (در این نوع موج، حرکت ارتعاشی ذرات محیط به یکدیگر منتقل می‌شود، زیرا در نواحی مختلف محیط به یکدیگر پیوسته‌اند.)

موج الکترومغناطیسی: این موج‌ها برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند، مانند نور مرئی، موج‌های رادیویی و تلویزیونی، میکرو موج و پرتوهای x (پیوستگی بین نواحی مجاور این نوع موج، ناشی از آن است که هر ارتعاش میدان الکتریکی موجب پدید آمدن یک میدان مغناطیسی می‌شود و نیز هر ارتعاش میدان مغناطیسی می‌شود.)

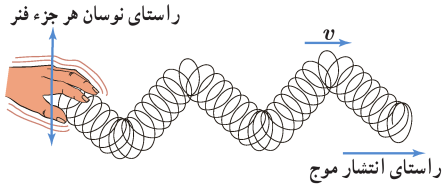
نکته: امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی منشأ متفاوتی دارند، ولی رفتار آن‌هااز قاعده‌ی کلی پیروی می‌کند که خاص هر پدیده‌ی موجی است.

موج پیش‌رونده: در موج‌های پیش‌رونده، این موج است که از نقطه‌ای به نقطه دیگر حرکت می‌کند و انرژی را منتقل می‌کند، نه ماده‌ای که موج در آن حرکت می‌کند. بدین ترتیب موج ها پیش‌رونده را می توان با توجه به جهت حرکت آن به دو قسمت زیر تقسیم نمود:

آ) موج عرضی

ب) موج طولی

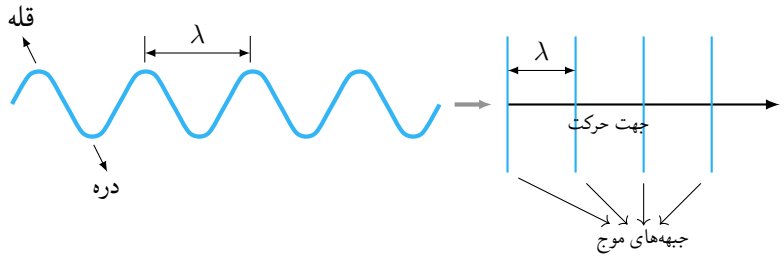
موج عرضی: در موج‌های عرضی، دو جابه‌جایی هر جزء نوسان کننده‌ای از محیط عمود برجهت حرکت (انتشار) موج است. به‌عنوان‌مثال در شکل زیر، شخص دست خود را به‌صورت پی‌درپی مانند یک حرکت هماهنگ ساده به بالا و پایین حرکت می‌دهد و موجی در شکل فنر ایجاد می‌شود، که با تندی v در طول فنر حرکت می‌کند. همان‌طورکه مشاهده می‌کنید، جابه‌جایی هر جزء نوسان کننده از فنر عمود برجهت حرکت موج است.



در حالی که موج به سمت راست حرکت می‌کند، هر حلقه فنر عمود بر جهت حرکت موج، به بالا و پایین نوسان می‌کند

موج طولی: در موج طولی جابه‌جایی هر جزء نوسان کننده‌ای از محیط در راستای حرکت موج است.

طول موج :(λ) مسافتی که‌موج در مدت یا دوره‌ی تناوب نوسان چشمه طی می‌کند را طول‌موج می‌نامیم. درواقع طول‌موج فاصله‌ی بین دو برآمدگی یا دو فرورفتگی مجاور و به‌طورکلی دونقطه‌ی کاملاً مشابه متوالی است.



تندی انتشار موج (v): فاصله‌ای که یک جبهه‌ی موج در واحد زمان طی می‌کند، تندی انتشار موج نامیده می‌شود. با توجه به این تعریف، اگر یک جبهه موج در مدت‌زمان Δt، مسافت L را طی کند، تندی به‌صورت مقابل به دست می‌آید:

$$V = \frac{L}{\Delta t}$$

اگر $\Delta t = T$ باشد، مسافت طی شده $L = \lambda$ است، بنابراین رابطه‌ی فوق به‌صورت زیر خواهد شد:

$$v = \frac{\lambda}{\Delta t} \xrightarrow{\frac{1}{T}} V = \frac{\lambda}{T} \longrightarrow \lambda = TV = \frac{V}{f} \qquad \text{(وفا تیوی)}$$

در این روابط، v تندی انتشار موج برحسب متر بر ثانیه (m/s)، λ طول‌موج‌برحسب متر (m)، f بسامد برحسب هرتز (Hz) و T دوره تناوب برحسب ثانیه (s) است.

نکته: تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار موج بستگی دارد. این موضوع هم به‌صورت تجربی و هم با محاسبات نظری قابل‌اثبات است.

به‌عنوان‌مثال، تندی انتشار موج سطحی روی آب کم‌عمق، به عمق آب تشت بستگی دارد. به‌گونه‌ای که اگر عمق آب کمی بیش‌تر باشد، تندی آن بیشتر می‌شود.

نکته: وقتی با یک چشمه، موج ایجاد می‌کنیم. تمام نقاطی که موجب به آن‌ها می‌رسد، با همان بسامد چشمه، شروع به نوسان می‌کنند. این موضوع حتی هنگامی‌که محیط انتشار موج نیز تغییر می‌کند، پابرجاست. به‌عبارت‌دیگر،اگر موجی در یک محیط و توسط یک چشمه ایجاد شود، درصورتی‌که وارد محیط دیگر شود، بسامد آن ثابت می‌ماند.

تست‌های این بخش:

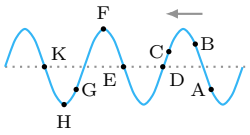
تست ۱) کدام‌یک از عبارت‌های زیر نادرست است؟

۱) موج در حین انتشار خود، انرژی را از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌کند. (اگر موج پیش‌رونده باشد)
۲) علت انتشار موج در محیط‌های کشسان ، وجود نیروی کشسانی بین اجزای محیط است.
۳) سرعت انتشار موج در یک محیط ، به شرایط فیزیکی چشمه موج بستگی دارد.
۴) در مدت یک دوره ، موج به‌اندازه یک طول‌موج پیشروی می‌کند

پاسخ: گزینه ۳- موج‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:
مکانیکی: که برای انتشار به محیط مادی نیاز دارد.
الکترومغناطیسی: که برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارد.

تست ۲) کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد امواج از لحاظ نحوه‌ی انتشار در محیط کشسان نادرست بیان‌شده است؟

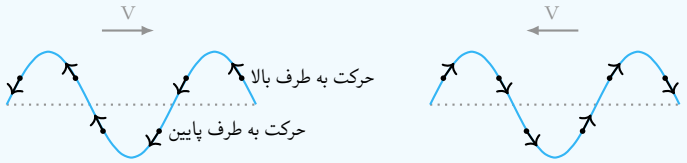
تست ۱۳) شکل زیر، یک موج عرضی سینوسی را در یک لحظه مشخص نشان می‌دهد. در این لحظه، حرکت چند ذره، رو به بالا و تندشونده است؟



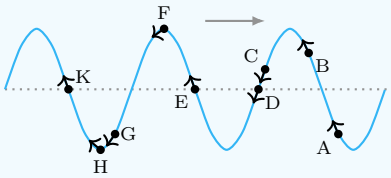
۱) یک ذره ۲) دو ذره ۳) سه ذره ۴) چهار ذره

نکته:

جهت حرکت ذرات محیط با جهت حرکت موج عکس همدیگر هستند یعنی موجی که به طرف راست حرکت می‌کند ذرات محیط روی آن به طرف چپ حرکت می‌کند تا بتواند فقط نوسان داشته باشد و اصلا منتشر نشود.



برای تفهیم بیشتر موضوع به مثال زیر توجه نمایید.

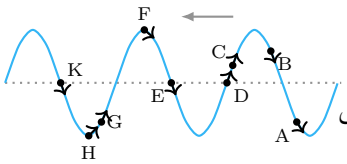


ذراتی‌که به سمت بالا حرکت می‌کنند: A, B, E, H, K

مابقی ذراتی‌که جهت حرکت آنها روبه پایین است: C, D, F, G

پاسخ:

حرکت رو به بالا تند شونده باشد.



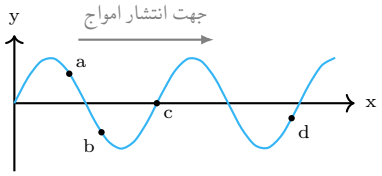
تندشونده: اگر ذره به طرف خط تعادل حرکت داشته باشد سرعتش افزایش می‌یابد.

کندشونده: حرکت ذره به طرف قله‌ها یا دره‌ها (جایی که سرعت صفر است) حرکتی کند شونده خواهد داشت.

ذراتی که به سمت خط تعادل حرکت می‌کنند همواره تندشونده هستند: H, G

ذراتی که به سمت قله حرکت می‌کنند، همواره کندشونده خواهند بود: D, C

تست ۱۴) شکل زیر یک موج سینوسی را در لحظه‌ای از زمان نشان می‌دهد که در جهت محور x در طول ریسمان کشیده شده‌ای در حال انتشار است. چه تعداد از موارد زیر صحیح است؟



آ- نوع حرکت ذره a کند شونده است.

ب- ذره c بیشترین مقدار انرژی جنبشی‌اش را دارد.

ج- جهت بردار شتاب ذره b در خلاف جهت محور y است.

د- انرژی جنبشی ذره d در حال کاهش است.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

پاسخ: گزینه۳

ذره‌ی a: بالارونده کندشونده: با کاهش انرژی جنبشی و افزایش انرژی پتانسیل

ذره‌ی b: بالارونده تندشونده: با افزایش انرژی جنبشی و کاهش انرژی پتانسیل

ذره‌ی c: پایین‌رونده کندشونده: با بیشترین انرژی جنبشی

ذره‌ی d: پایین‌رونده کندشونده: با کاهش انرژی جنبشی و افزایش انرژی پتانسیل

علامت ذرات

$x_a > 0 \rightarrow a_a < 0 \rightarrow F_a < 0, V_a > 0$ روبه بالا

$x_b > 0 \rightarrow a_b < 0 \rightarrow F_b < 0, V_b > 0$ روبه بالا

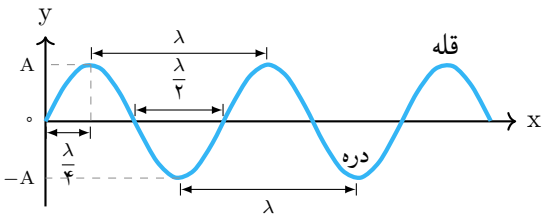
$x_c > 0 \rightarrow a_c < 0 \rightarrow F_c < 0, V_c > 0$ روبه پایین

$x_d > 0 \rightarrow a_d < 0 \rightarrow F_d < 0, V_d > 0$ روبه پایین

قسمت ششم: موج‌های عرضی

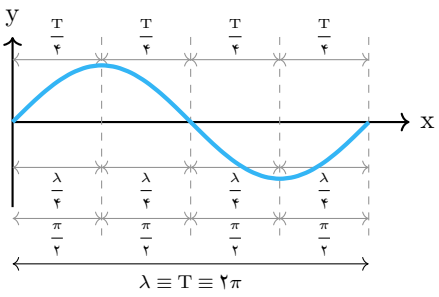
مشخصه‌های موج عرضی

برای معرفی هر نوع موجی نیاز به یک تابع‌داریم. تابعی که می‌تواند شکل موج را به‌درستی توصیف کند، یک تابع سینوسی یا کسینوسی است. در این شکل در A دامنه و λ طول‌موج است.



نکته: مواظب باشید تندی انتشار موج را با تندی نوسان ذرات محیط انتشار موج اشتباه نگیرید. ذرات محیط حرکت هماهنگ ساده انجام داده و تندی آن‌ها بین صفر تا $A\omega$ متغیر است ولی تندی انتشار موج ثابت و $v = \lambda f$ است.

توجه: نمودار موج یا نقش موج یک نمودار مکان–مکان است و راستای y میزان دامنه نوسان ذرات محیط یا همان بلندی موج را نشان می‌دهد و راستای x میزان پیشروی موج یا ذره موج را در مدت‌زمانی همچون Δt نشان می‌دهد.



تست‌های این بخش:

تست ۱) شکل‌های زیر نقش یک موج را که در جهت محور x در حال انتشار است. در دو لحظه‌ی t_1 و t_2 نشان می‌دهد. علامت

قسمت هفتم: امواج الکترومغناطیسی

چگونگی ایجاد موج الکترومغناطیسی و ویژگی های آن

مایکل فاراده به طور تجربی به این نتیجه رسید که تغییر میدان مغناطیسی می تواند میدان الکتریکی تولید کند. چند سال بعد ماکسول پیش بینی کرد، که تغییر میدان الکتریکی نیز می تواند میدان مغناطیسی تولید کند و از این دو پدیده نتیجه گرفت:

۱) امواج الکترومغناطیسی باید لزوماً ناشی از تغییرات همزمان میدانهای الکتریکی و مغناطیسی (اصطلاحاً میدان الکترومغناطیسی) باشند.

۲) عامل ایجاد امواج الکترومغناطیسی ذرات بارداری هستند که حرکت نوسانی انجام داده و می‌توانند میدانهای الکتریکی و مغناطیسی نوسانی ایجاد کنند.

مشخصه‌های امواج الکترومغناطیسی سینوسی

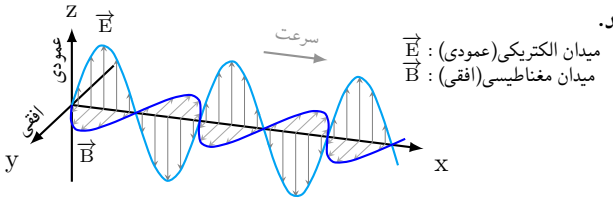
۱) میدانهای الکتریکی و مغناطیسی $\vec{E}$ و $\vec{B}$ همواره بر هم عمودند.

۲) میدانهای الکتریکی و مغناطیسی $\vec{E}$ و $\vec{B}$ همواره در جهت حرکت موج عمود هستند؛ بنابراین موج الکترومغناطیسی یک موج عرضی است.

۳) میدان ها همواره به صورت سینوسی تغییر می کنند.

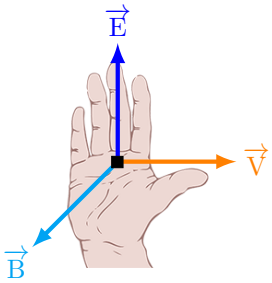
۴) میدان ها با بسامدی یکسان و همگام (هم فاز) با یکدیگر تغییر می کنند.

۵) این امواج برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند.



تشخیص جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی

در نقاط دور از چشمه ی موج الکترومغناطیسی، اگر دست راست خود را به گونه‌ای بگیریم که چهار انگشت دست راست در جهت $\vec{E}$ و کف دست در جهت $\vec{B}$ باشد، انگشت شست دست راست، جهت انتشار موج را نشان می دهد.



تندی انتشار موج الکترومغناطیسی

مانند تمام موج ها، تندی انتشار موج الکترومغناطیسی با رابطه‌ی $V = \lambda f$ قابل محاسبه است.

ماکسول نشان داد که تندی انتشار تمام امواج الکترومغناطیسی در خلاء از رابطه‌ی $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ به دست می آید، که در آن $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \mathrm{T.m/A}$ تراوایی مغناطیسی خلاءو $\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \mathrm{C^2/N.m^2}$ ضریب گذردهی الکتریکی خلاء

است.

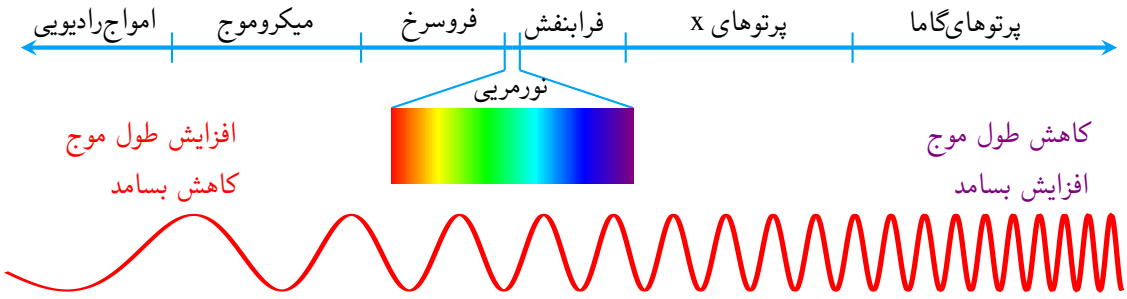
$$\text{سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی} = c = \frac{۱}{\sqrt{\mu_۰ \lambda_۰}} \simeq ۳ \times ۱۰^۸ \text{m/s}$$

نکته: تندی انتشار تمام امواج الکترومغناطیسی در خلاء یکسان است؛ ولی در محیط های غیر از خلاء مانند آب، شیشه و... تندی انتشار آنها یکسان نیست.

نکته: بر خلاف موج‌های مکانیکی، موج‌های الکترومغناطیسی برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند. بنابراین امواج الکترومغناطیسی انرژی را نه به صورت انرژی جنبشی و نه به صورت انرژی پتانسیل ذرات محیط، بلکه به صورت انرژی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می‌کنند. توانی که از خورشید به سطح زمین می رسد، ۱۰۰ میلیون گیگاوات و $۱۰^۸$ برابر توان تولیدی یک نیروگاه هسته‌ای است.

طیف امواج الکترومغناطیسی

طیف امواج الکترومغناطیسی به صورت زیر، گستره‌ای از طول موج ها را در بر می گیرد.همه ی این امواج، موج های الکترومغناطیسی هستند که از راست به چپ، طول موج آن ها افزایش می یابد.



نکته: این طیف هیچ گسستگی‌ای ندارد و پیوسته است.

تست‌های این بخش:

تست ۱) کدام یک از عبارت های زیر در رابطه با امواج الکترومغناطیسی نادرست است؟

۱) هرتز نشان داد طبیعت امواج رادیویی با نور مرئی یکسان است.
۲) همواره راستای نوسان میدانهای الکتریکی و مغناطیسی بر هم عمود است.
۳) تولید امواج الکترومغناطیسی ناشی از تغییرات همزمان میدان های الکتریکی و مغناطیسی است.
۴) تندی انتشار امواج رادیویی همواره از رابطه‌ی $c = \frac{۱}{\sqrt{\mu_۰ \varepsilon_۰}}$ به دست می‌آید.

پاسخ:

- امواج رادیویی با نور مرئی هردو جزء امواج الکترومغناطیسی هستند.
- میدان الکتریکی و مغناطیسی بر هم عموداند و هردوی آنها بر جابجایی عمود هستند.
- تغییر میدان‌الکتریکی باعث ایجاد میدان‌مغناطیسی و تغییر میدان‌مغناطیسی باعث ایجاد میدان‌الکتریکی می‌شود و ترکیب آنها میدان‌های الکترومغناطیسی را می‌سازند که انرژی اضافه‌ی این میدان‌ها به‌صورت امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌شود.

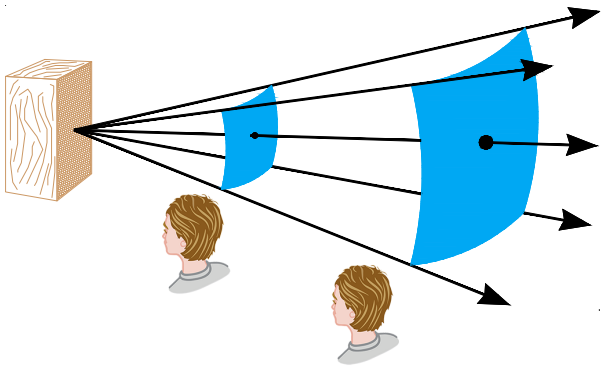
وجود می‌آید که تمام جهت‌ها از چشمه دور می‌شود.

شدت صوت :(I) شدت یک موج صوتی در یک سطح برابر آهنگ انرژی‌ای است که توسط موج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می رسد و یا از آن عبور می کند. $I = \frac{\overline{P}}{A}$

در این رابطه، $\overline{P}$ آهنگ متوسط انتقال انرژی بر حسب وات (W) و A مساحت سطحی است که صوت با آن برخورد می‌کند و یکای آن مترمربع (m^2) است. به این ترتیب شدت صوت (I) بر حسب وات بر متر مربع (W/m^2) به دست می‌آید.

رابطه شدت صوت و فاصله از شدت صوت

هنگام دور شدن صوت از چشمه، انرژی به طور عمود، صفحه‌های مجازی که مدام بزرگتر و بزرگتر می شوند را قطع می کند. به عبارت دیگر، انرژی درسطح بزرگتری پخش شده و شدت صوت با دور شدن از چشمه‌ی صوت کاهش می یابد.



نکته: اگر جبهه‌های موج صوتی در هوا به شکل کره، باشند آنگاه با دور شدن از چشمه‌ی صوت، انرژی از یک کره به کره‌ی بزرگتری می‌رسد و به شدت صوت کم می‌شود. از آنجایی که مساحت سطح کره $A = ۴\pi r^2$ است، می توان رابطه شدت صوت را در این حالت به صورت مقابل نوشت. $I = \frac{\overline{P}}{۴\pi r^2}$

نکته: آهنگ انتقال انرژی برای همه ی امواج مکانیکی با مربع دامنه و نیز مربع بسامد موج متناسب است. به عبارت دیگر برای یک موج صوتی که جبهه های موج آن کروی هستند، می‌توانند نسبت زیر را نوشت.

در این رابطه، A دامنه موج، f بسامد موج و r فاصله از چشمه‌ی موج است. $\frac{I_۲}{I_۱} = (\frac{A_۲}{A_۱} \times \frac{f_۲}{f_۱} \times \frac{r_۱}{r_۲})^۲$

تراز شدت صوت

برای راحتی در هنگام بررسی گستره‌ی صوت‌ها، به جای شدت یک موج صوتی از تراز شدت صوت (تراز صوتی) استفاده می‌کنیم که به صورت روبه رو تعریف می شود: $\beta = ۱۰ \log(\frac{I}{I_۰})$

در این رابطه I شدت صوت، $I_۰ = ۱۰^{-۱۲} W/m^2$ شدت مرجع و (β) تراز شدت صوت بر حسب دسی بل (db) است.

توجه: $I_۰ = ۱۰^{-۱۲} W/m^2$ به این دلیل به عنوان شدت مرجع معیار انتخاب شده است که نزدیک به حد پایین گستره‌ی شنیداری انسان است . به عبارت دیگر اگر در بسامد مناسب صوتی دارای این شدت باشد، به زحمت شنیده می شود. برای درک بهتر در جدول زیر برای بعضی از صداها شدت صوت و ترازهای متناظر با آن نوشته شده است.

تست‌های این بخش:

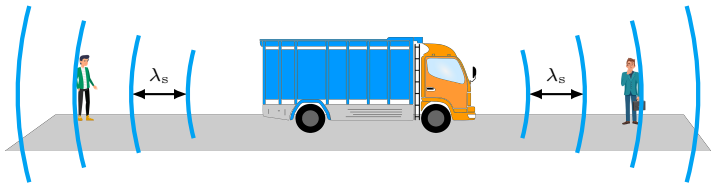
تست ۱) اگر آهنگ متوسط انرژی صوتی که از یک صفحه می‌گذارد $۶/۹۱۲ \times ۱۰^{-۹} W$ و تراز شدت صوت در محل صفحه $۲۴db$ باشد، مساحت صفحه چند متر مربع است؟

۲) اگر چشمه و ناظر (شنونده) در حال دور شدن از هم باشند، بسامدی که ناظر دریافت می‌کند از بسامدی که چشمه می‌فرستد، کمتر است.

این موضوع برای تمام حالت‌ها امکان‌پذیر است. ولی در این کتاب (کتاب دوازدهم) فقط دو حالت خاص مورد بررسی قرارگرفته است.

حالت اول: چشمه متحرک و ناظر (شنونده) ساکن

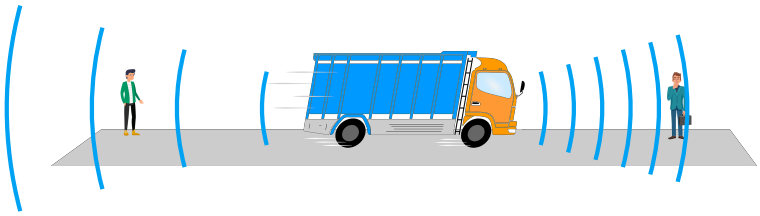
وقتی چشمه‌ی صوت ساکن باشد، تجمع جبهه‌های موج در جلو و عقب آن یکسان است.



حال اگر چشمه شروع به حرکت کند:

۱) در جلوی چشمه فاصله‌ی جبهه‌های موج کم‌تر و درنتیجه طول‌موج دریافتی توسط ناظر کم‌تر می‌شود و بسامدی که این ناظر دریافت می‌کند نسبت به قبل افزایش می‌یابد.

۲) در پشت چشمه، فاصله‌ی جبهه‌های موج بیش‌تر و درنتیجه طول‌موج دریافتی توسط ناظر بیش‌تر می‌شود و بسامدی که این ناظر دریافت می‌کند نسبت به قبل کاهش می‌یابد.

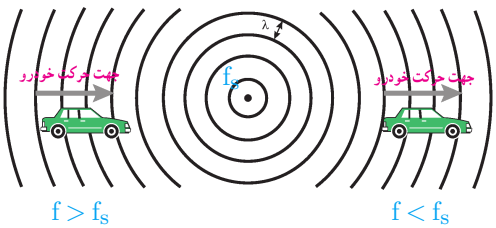


حالت دوم: چشمه ساکن و ناظر (شنونده) متحرک

در این حالت، تجمع جبهه‌های موج در دو سوی چشمه‌ی یکسان و درنتیجه طول‌موج در اطراف چشمه‌ی موج ثابت است. ولی حرکت کردن ناظر باعث حالت‌های زیر خواهد شد:

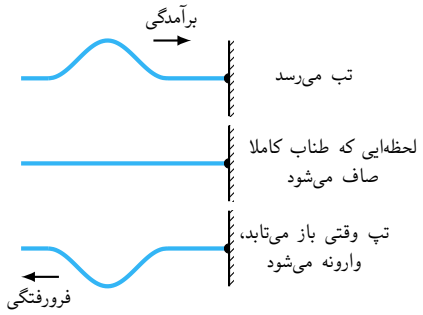
۱) اگر ناظر به‌طرف چشمه حرکت کند، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت‌زمان‌یکسان، با جبهه‌های موج بیشتری مواجه می‌شود با این منجر به افزایش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود.

۲) اگر ناظر از چشمه دور شود، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت‌زمان‌یک سال با جبهه‌های موج کمتری مواجه می‌شود و این منجر به کاهش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود.



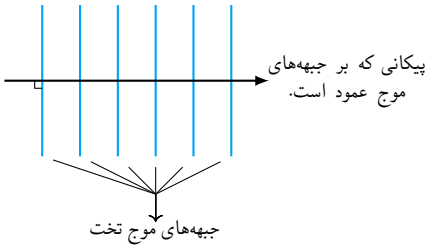
قسمت نهم: بازتاب امواج

بازتاب در محیط‌های یک‌بعدی و دوبعدی



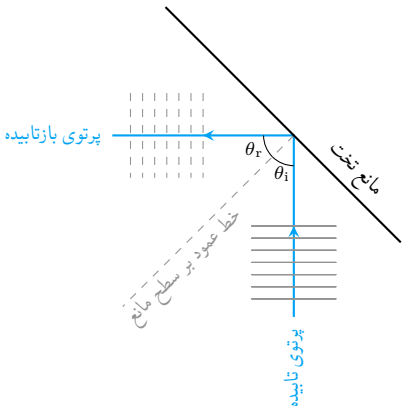
وقتی یک‌سر ریسمان با یک فنر کشیده شده و بلند، به نقطه‌ای ثابت‌شده باشد. درصورتی‌که یک تپ در آن ایجاد کنیم، تپ به‌صورت وارونه از انتهای ثابت ریسمان یا فنر بازتاب می‌شود. یعنی اگر برآمدگی برود، فرورفتگی برمی‌گردد و اگر فرورفتگی برود، برآمدگی برمی‌گردد.

بازتاب موج در سطح آب درون تشت موج



موج در دو بعد (مانند موج ایجادشده در سطح آب درون تشت موج) با جبهه‌های موج مشخص می‌شود، ولی بهتر است برای بررسی رفتار موج در دو بعد از **نمودار پرتوی** استفاده کنیم. در این حالت یک پرتو، پیکان مستقیمی (عمود بر جبهه‌های موج) است که جهت انتشار بخشی از موج را نشان می‌دهد.

حال فرض کنید که این موج تخت به یک سطح بازتاب‌کننده‌ی تخت که در مقایسه با طول‌موج λ بسیار بزرگ است، برخورد کند. در این حالت به‌صورت شکل زیر بازتاب می‌شود.



در این شکل:

۱) زاویه‌ی بین پرتو تابیده‌شده (فرودی) با خط عمود بر سطح مانع را زاویه‌ی تابش می‌نامیم و آن را با θ_i نمایش می‌دهیم.

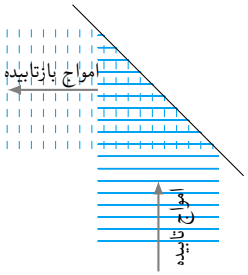
۲) زاویه بین پرتو بازتابیده با خط عمود بر سطح مانع را زاویه‌ی بازتابش می‌نامیم. و آن را با θ_r نمایش می‌دهیم.

۳) همان‌طور که در شکل می‌بینید این دو زاویه باهم برابرند، $(\theta_i = \theta_r)$. این موضوع قانون بازتاب عمومی نام دارد.

۴) پرتوی تابیده و پرتوی بازتابیده و خط عمود بر سطح مانع در نقطه‌ی تابش، هر سه در یک صفحه‌ی عمود بر سطح مانع قرار دارند.

۵) این موضوع برای تمام انواع موج و هر وضعیت مانع برقرار است.

نکته: هرگاه موج تخت یک مانع برخورد کند، موج بازتابیده شده نیز یک موج تخت دیگر است که باهم ترکیب‌شده و شبکه‌ای را در جلوی مانع تشکیل می‌دهند به مانند شکل زیر که ترکیبی از جبهه‌های موج تابیده (خطوط توپر) و جبهه‌های موج بازتابیده (خطوط خط چین) در جلوی مانع تشکیل یک شبکه داده است.

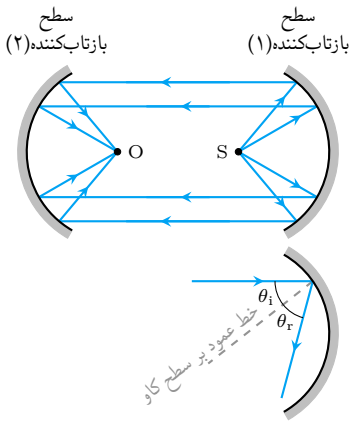


بازتاب امواج صوتی و پژواک

برای بررسی بازتاب در سه بُعد، بهترین مثال امواج صوتی هستند. صوت می‌تواند از یک سطح سخت، مانند یک دیوار، بازتاب شود. نکته‌ی مهم این است که بازتاب صوت نیز از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کند.

بازتاب امواج صوتی از سطح خمیده

امواج صوتی می‌توانند از سطوح خمیده نیز بازتاب شوند، یکی از معروف‌ترین سطوح بازتاب‌کننده‌ی صوت سطوح کاو هستند که دارای نقطه‌ای به نام کانون‌اند. ویژگی این نقطه این است که اگر یک موج صوتی تخت به سطح کاو بتابد در این نقطه جمع می‌شود و برعکس، اگر یک چشمه‌ی صوت نقطه‌ای که امواج کروی تابش می‌کند، در این نقطه قرار بگیرد، امواج بازتاب شده از آن به‌صورت تخت بازتاب می‌شود.



میکروفون سهموی

در این نوع میکروفون، از یک سطح سهموی استفاده می‌شود که یک میکروفون در کانون آن قرار دارد. صوت‌های ضعیفی که به این سطح می‌رسند، در کانون و محل میکروفون جمع شده، شدت آن افزایش می‌یابد و میکروفون قادر به دریافت آن است. این نوع میکروفون‌ها کاربردهای فراوانی ازجمله در هنگام ضبط صداهای طبیعت، صداهای میدان‌های ورزشی در گزارش‌های ورزشی یا استراق سمع دارد.

سطح سهموی در این نوع میکروفون‌ها فقط می‌توانند امواجی با طول‌موج خیلی کوچک‌تر از قطر سهمی را متمرکز کنند، به همین علت برای ضبط همه نوع صدا مناسب نیستند.

دستگاه لیتوتریسپی

گاهی اوقات، سنگ‌های تشکیل‌شده در کلیه‌ی انسان به‌اندازه‌ای بزرگ هستند که نمی‌توانند از مجاری ادراری دفع شوند. به همین علت، به‌وسیله‌ی دستگاهی به نام لیتوتریسپی آن‌ها را خرد کرده تا دفع آن‌ها از مجاری ادراری آسان شود. در این دستگاه به‌وسیله بازتابنده‌های بیضوی، از بیرون بدن، امواج صوتی به مرکز سنگ نشانه‌گیری شده و به‌صورت ضربه‌ای به سمت سنگ شلیک می‌شوند تا سنگ خرد شود.

پژواک

هرگاه صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده‌ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی پژواک گفته می‌شود.

نکته: برای این‌که گوش انسان بتواند بین صوت مستقیم اولیه و پژواک را تمیز دهد، باید اختلاف‌زمانی این دو بیش از ۰/۱ ثانیه باشد.

مکان‌یابی پژواکی

مکان‌یابی پژواکی روشی است که بر اساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می‌کند. مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آن‌ها به کار می‌رود.

کاربردهای مکان‌یابی پژواکی:

۱) خفاش با دلفین این‌گونه اطراف خود را بررسی می‌کنند. مثلاً خفاش، فورانی از امواج فراصوت را از دهان یا سوراخ بینی خود گسیل کرده و بازتاب آن‌ها را دریافت می‌کند، بر اساس زمان رفت‌وبرگشت و تفاوت بسامد بین موج فرستاده‌شده و موج بازتاب شده، خفاش می‌تواند اشیای اطراف خود و حتی تندی آن‌ها یا تندی خود را تشخیص دهد.

۲) در دستگاه سونار در کشتی‌ها برای مکان‌یابی اجسام زیرآب به کار می‌رود.

۳) در سونوگرافی نیز از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود. به‌وسیله‌ی کاوه‌ی دستی موسوم به تراگذار فراصوتی، به بدن بیمار فرستاده می‌شود و با تحلیل بازتاب آن‌ها، شکلی از داخل بدن در صفحه‌ی نمایش دیده می‌شود.

۴) در تعیین تندی شارش خون (گویچه‌های قرمز) در رگ از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود. در این کار، به‌وسیله‌ی یک فرستنده، باریکه‌ای فراصوت به سمت رگ فرستاده می‌شود و بازتاب آن‌ها از گویچه‌های قرمز بررسی می‌شود. از روی تغییر بسامد، تندی گویچه‌های قرمز مشخص می‌شود.

نکته: برای تشخیص یک جسم براثر بازتاب صوت توسط آن جسم (مکان‌یابی پژواکی) باید اندازه آن جسم در حدود طول‌موج به‌کاررفته یا بزرگ‌تر از آن باشد.

بازتاب امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی نیز می‌توانند از سطوح مختلف بازتابیده شوند. در مورد بازتاب امواج الکترومغناطیسی می‌توان گفت:

۱) بازتاب امواج الکترومغناطیسی از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کند.

۲) امواج الکترومغناطیسی (مانند امواج صوتی) می‌توانند از سطوح تخت و هم سطوح خمیده بازتاب شوند، توجه کنید که در تمام این حالت‌ها قانون بازتاب عمومی رعایت می‌شود.

۳) امواج الکترومغناطیسی تخت تابیده به یک سطح کاو می‌توانند پس از بازتابش در یک نقطه کانونی شوند. در این حالت دامنه موج افزایش می‌یابد. از این سازوکار برای دریافت امواج رادیویی توسط آنتن‌های بشقابی و یا دریافت و متمرکز کردن امواج فروسرخ برای گرم کردن آب یا مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی استفاده می‌کنند.

۴) نور مرئی بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است و از قانون بازتاب عمومی تبعیت می‌کند.

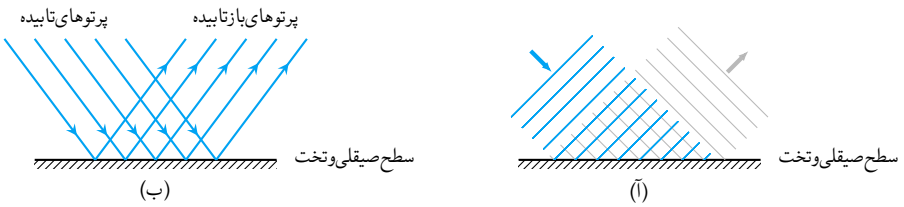
۵) اگر جسمی که منعکس‌کننده‌ی امواج الکترومغناطیسی است، خودش در حال حرکت باشد، بسامد موج الکترومغناطیسی بازتاب شده با موج الکترومغناطیسی اولیه متفاوت بوده و از روی میزان این تغییر، تندی حرکت آن جسم مشخص می‌شود. از این سازوکار در رادارهای دوپلری استفاده می‌شود. رادارهای دوپلری در تعیین تندی خودروها توسط پلیس راهنمایی و رانندگی و یا در هواشناسی کاربرد فراوان دارد.

انواع بازتاب امواج الکترومغناطیسی

آ) بازتاب منظم (آینه‌ای)

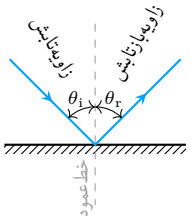
ب) بازتاب نامنظم (پخشیده)

آ) **بازتاب منظم (آینه‌ای):** اگر یک سطح تخت و بسیار هموار، مانند آینه داشته باشیم به آن‌یک موج تخت بتابانیم، پرتوهای موازی‌ای که به این سطح می‌رسند، به‌صورت موازی بازتاب می‌شوند. به این نوع بازتاب، بازتاب منظم و یا بازتاب آینه‌ای گفته می‌شود. نمایش این نوع بازتاب، بر اساس جبهه‌موج (شکل (آ)) بر اساس پرتوهای نور (شکل (ب)) به‌صورت زیر است:

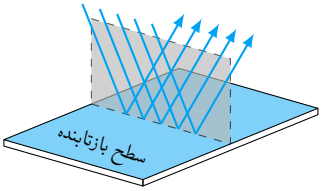


نکته:

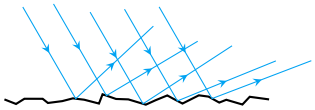
۱) برای هر پرتو، زاویه‌ی تابش و زاویه‌ی بازتابش باهم برابرند. $(\theta_i = \theta_r)$



۲) پرتوهای تابش و بازتابش در یک صفحه قرار دارند که عمود بر سطح بازتابنده است.



ب) بازتاب نامنظم (پخشیده): هنگامی‌که یک صفحه ناهموار باشد، و پرتوهای موازی که به سطح آن برخورد می‌کنند، به‌صورت کاتوره‌ای از پستی‌وبلندی‌های آن بازتابیده و در تمام جهت‌ها پراکنده می‌شوند. به این نوع بازتابش، بازتابش نامنظم یا پخشیده‌ی نور گفته می‌شود.



نکته:

۱) در بازتاب نامنظم برای هر پرتو، بازهم قانون بازتاب هم چنان برقرار است. ولی به علت ناصاف بودن سطح، زاویه‌های تابش درنتیجه زاویه‌های بازتابش در نقاط مختلف متفاوت هستند درنتیجه پرتوهای بازتاب در جهت‌های متفاوتی پراکنده می‌شوند.

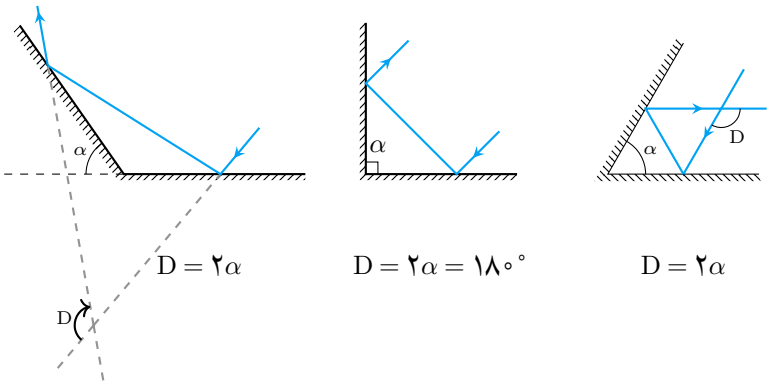
۲) اغلب اجسامی که در اطراف خود مشاهده می‌کنیم، به علت بازتاب نامنظم دیده می‌شوند. مانند برگه‌ی کاغذ، افراد دیگر و ...

۳) به علت اینکه در بازتاب نامنظم، پرتوهای بازتاب در تمام جهت‌ها پراکنده می‌شوند. اگر یک دسته که موازی به سطحی ناصاف برسد، حتماً آن سطح در تمام جهت‌ها دیده می‌شود. این در حالی است که اگر این دسته پرتوی موازی به سطح آینه‌ی تخت برسد، فقط یک‌جهت می‌توانید بازتاب آن را ببینید.

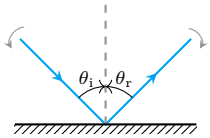
۴) منظور از سطح ناهموار، آن است که سطح در مقایسه با طول‌موج نور ناهموار است. مثلاً یک کاغذ در ظاهر بسیار هموار به نظر می‌رسد، اما از دیدگاه میکروسکوپی این سطح از اجزای متمایز و کوچکی تشکیل‌شده است که بسیار بزرگ‌تر از $1\mu m$ هستند و با توجه به اینکه طول‌موج نور مرئی $0/5\mu m$ است، چنین سطحی برای نور مرئی، ناهموار محسوب می‌شود. درحالی‌که ناهمواری‌های سطوح فلزی صیقلی، بسیار کوچک‌تر از $1\mu m$ بوده و برای نور مرئی سطوحی هموار محسوب می‌شوند.

نکته: یکی از تست‌های معروف در مبحث بازتاب، پیدا کردن زاویه‌ی انحراف در آینه‌های متقاطع است، در این صورت دو روش می‌توان برای پیدا کردن آن به کار برد. روش اول: این است که با توجه به قوانین بازتاب نور، مسیر نور رسم کرده

و زاویه‌ی انحراف را به دست می‌آوریم. در روش دوم، زاویه‌ی انحراف پرتوی بازتاب شده از آینه‌ی دوم نسبت به پرتوی تابیده‌شده به آینه اول، به‌صورت زیر به دست می‌آید:

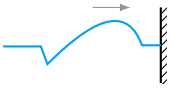


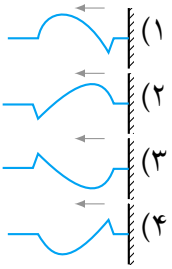
نتیجه: هرگاه زاویه‌ی تابش به یکی از دو آینه‌ی تخت متقاطع با زاویه‌ی بین آینه برابر باشد، پرتوهای نور به‌طور عمود به آینه‌ی دوم برخورد می‌کند و روی خودش بازتاب می‌شود.



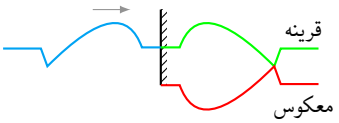
تست‌های این بخش:

تست ۱) مطابق شکل زیر تپی در یک طناب به دیوار بسته‌شده، تولیدشده است. کدام گزینه موج بازگشتی از دیوار را به‌درستی نشان می‌دهد؟





پاسخ: شیوه حل این‌گونه سوالات به این صورت است که: ۱) قرینه کنید ۲) معکوس کنید ۳) معکوس همان جواب می‌باشد



تست ۲) مطابق شکل زیر، تپی در یک ریسمان کشیده‌ی بلند که یکسر آن به تکیه‌گاهی ثابت‌شده است، به سمت تکیه‌گاه روانه می‌شود بازتاب این تپ مطابق با کدام گزینه است؟

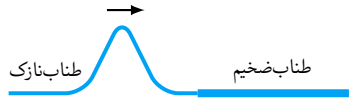
قسمت دهم: شکست موج

شکست موج در محیط‌های یک بعدی

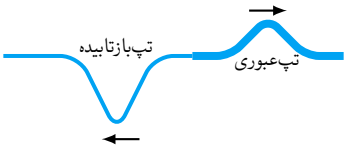
فرض کنید دو طناب، یکی نازک و دیگری ضخیم، به هم متصل باشند با یک تپ بخواهد از یکی از طناب‌ها به دیگری برود. بخشی از تب در مرز دو طناب بازمی‌تابد و بخش دیگر عبور کرده و وارد طناب دیگری می‌شود. می‌توان دو وضعیت زیر را بررسی کرد:

۱) اگر تب به‌صورت برآمدگی بخواهد از طناب نازک وارد طناب ضخیم شود آنگاه:

آ) بازتابیده با همان بسامد و طول‌موج و تندی ولی با دامنه‌ی کوچک‌تر به‌صورت فرورفتگی برمی‌گردد.



ب) تپ عبوری با همان بسامد ولی تندی و طول‌موج و دامنه‌ی کوچک‌تر به‌صورت برآمدگی وارد طناب ضخیم می‌شود.

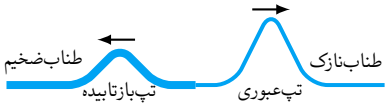


توجه: اگر در این حالت تپ فرودی به‌صورت فرورفتگی بود، تپ بازتابیده برآمده تپ عبوری به‌صورت فرورفتگی می‌شود.

۲) اگر تپ به‌صورت برآمدگی بخواهد از طناب ضخیم وارد طناب نازک شود، آنگاه:

آ) تیپ بازتابیده، با همان بسامد، طول‌موج و تندی ولی با دامنه‌ی کوچک‌تر به‌صورت برآمدگی برمی‌گردد.

ب) تپ عبوری، با همان بسامد، ولی تندی و طول‌موج بزرگ‌تر به‌صورت برآمدگی وارد طناب نازک می‌شود



توجه: اگر در این حالت، تپ فرودی به‌صورت فرورفتگی بود، تپ بازتابیده و تپ عبوری نیز به‌صورت فرورفتگی می‌شدند.

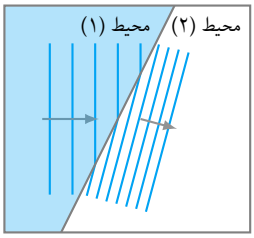
شکست موج در دو بعد-شکست موج در سطح آب

هرگاه یک موج تخت بخواهد از یک محیط به‌طور مایل وارد محیط دیگر شود، تغییر جهت می‌دهد یا اصطلاحاً شکسته می‌شود. این شکست را می‌توان به دودسته زیر تقسیم کرد:

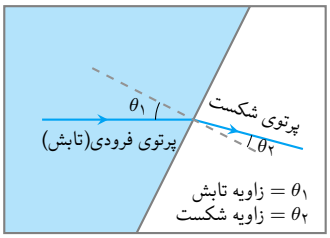
۱) اگر تندی انتشار موج در محیط دوم، کمتر از تندی انتشار موج در محیط اول باشد، در این صورت مطابق شکل‌های زیر:

آ) طول‌موج در محیط (۲) کوچک‌تر از طول‌موج در محیط (۱) است. بنابراین فاصله‌ی جبهه‌ای موج در محیط (۲) کمتر از محیط (۱) است.

ب) زاویه‌ی شکست از زاویه‌ی تابش کوچک‌تر است.



بررسی جبهه‌ی موج

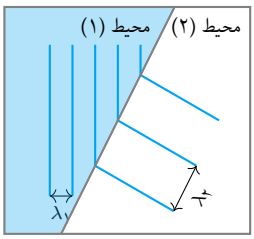


بررسی پرتویی موج

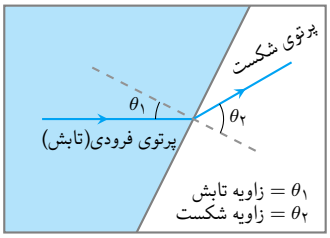
۲) اگر تندی انتشار موج در محیط دوم، بیشتر از تندی انتشار موج در محیط اول باشد، در این صورت مطابق شکل‌های زیر:

آ) طول‌موج در محیط (۲) بزرگ‌تر از طول‌موج در محیط (۱) است به همین دلیل فاصله‌ی جبهه‌های موج در محیط دوم بیشتر از محیط اول است.

ب) زاویه‌ی شکست از زاویه‌ی تابش بزرگ‌تر است.



بررسی جبهه‌ی موج



بررسی پرتویی موج

توجه: بین دو محیط که‌موج از یکی از آن‌ها وارد دیگری می‌شود، در محیطی که تندی انتشار مرج بیش‌تر است، پرتوهای موج با خط عمود بر مرز جدایی دو محیط، زاویه بزرگ‌تری می‌سازد.

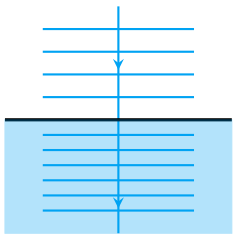
علت شکست موج

علت شکسته شدن موج، تغییر تندی موج هنگام عبور از مرز جدایی دو محیط است.

نکته:

۱) بسامد بخشی از موج که وارد محیط دوم می‌شود، با بسامت موج فرودی برابر است، ولی طول‌موج آن با طول‌موج، موج فرودی متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که در محیطی که تندی انتشار موج بیش‌تر است، طول‌موج نیز بزرگ‌تر است.

۲) اگر پرتوهای موج عمود بر مرز جدایی دو محیط به این مرز برسند، دیگر شکسته نمی‌شوند. البته طول‌موج در محیط دوم نسبت به محیط اول متفاوت است، ولی چون کل جبهه‌های موج باهم به این مرز می‌رسند، شکست رخ نمی‌دهد.



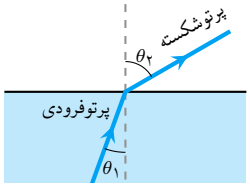
تست‌های این بخش:

تست ۱) در انتشار موج‌های سطحی در آب‌های کم‌عمق، با افزایش عمق آب و تندی انتشار موج و طول‌موج به ترتیب از راست به چپ چگونه تغییر می‌کند؟

آشنایی با قانون شکست عمومی

قانون شکست عمومی

فرض کنید مطابق شکل زیر موجی از محیطی وارد محیط دیگر شده و دچار شکست شود. دقت کنید برای نشان دادن موج از نمودار پرتویی استفاده شده است.

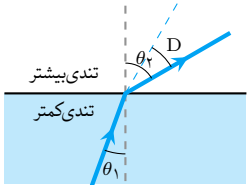


همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید زاویه‌ی بین پرتو فرودی با خط عمود بر مرز که زاویه‌ی تابش نام دارد با θ_1 نشان داده می‌شود و زاویه بین پرتو شکسته شده با خط عمود بر مرز که زاویه‌ی شکست نام دارد با θ_2 نشان داده می‌شود. اگر تندی موج فرودی V_1 و تندی شکست یافته V_2 باشد، طبق قانون عمومی شکست داریم:

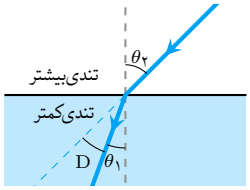
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_2}{v_1}$$

نکته:

۱) مطابق شکل مقابل اگر موجی از محیطی با تندی کمتر به محیطی با تندی بیشتر برود از خط عمود بر سطح فاصله می‌گیرد و $\theta_2>\theta_1$ می‌شود. در این حالت برای به دست آوردن زاویه انحراف پرتو (D) داریم: $D=\theta_2-\theta_1$



۲) مطابق شکل مقابل اگر موج از محیطی با تندی بیشتر به محیطی با تندی کمتر برود به خط عمود بر سرعت نزدیک می‌شود و $\theta_2<\theta_1$ می‌شود. در این حالت برای به دست آوردن زاویه انحراف پرتوداریم: $D=\theta_1-\theta_2$



ضریب شکست

به نسبت تندی انتشار نور در خلأ به‌تندی انتشار نور در محیط موردنظر ضریب شکست محیط موردنظر گویند. ضریب شکست یک محیط به جنس محیط، دما و طول‌موج نوری که در آن محیط منتشر می‌شود بستگی دارد و به‌صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

$$n=\frac{c}{v}$$

$n\leftarrow$ ضریب شکست

$c\leftarrow$ تندی نور در خلاء $(c=3\times10^8\frac{m}{s})$

$v\leftarrow$ تندی نور در محیط موردنظر

نکته: چون تندی نور در خلأ بیشترین تندی ممکن است، ضریب شکست بزرگ‌تر یا مساوی ۱ است. دقت کنید که ضریب شکست خلأ برابر ۱ است.

قانون شکست اسنل

از ترکیب رابطه‌ی ضریب شکست و قانون شکست عمومی می‌توان به قانون اسنل رسید:

رابطه ضریب شکست: $\frac{v_2}{v_1}=\frac{n_1}{n_2}$

قانون شکست عمومی: $\frac{v_2}{v_1}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$

$$\Longrightarrow \frac{n_1}{n_2}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}\rightarrow n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$$

$n_2, n_1\leftarrow$ ضریب شکست

$\theta_1\leftarrow$ زاویه پرتو تابش

$\theta_2\leftarrow$ زاویه پرتو شکست

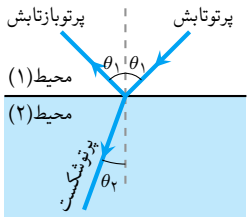
جمع‌بندی روابط و قوانین شکست موج

به‌طورکلی اگر تناسب روبرو را به خاطر بسپارید می‌توانید تمام سؤالات این قسمت را به‌راحتی پاسخ دهید.

$$\frac{\lambda_۲}{\lambda_۱}=\frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱}=\frac{v_۲}{v_۱}=\frac{n_۱}{n_۲}$$

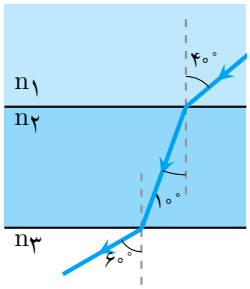
شکست امواج الکترومغناطیسی-شکست نور

امواج الکترومغناطیسی نیز با گذر از یک محیط به محیط دیگر که در آن تندی آن‌ها متفاوت می‌شود، شکسته می‌شود شکست آن‌ها نیز از قانون شکست تبعیت می‌کند. می‌دانیم نور مرئی جزئی از امواج الکترومغناطیسی است و قانون شکست برای نور مرئی نیز برقرار است. به‌این‌ترتیب وقتی یک پرتو بخواهد به‌طور مایل، از یک محیط شفاف، وارد محیط شفاف دیگری شود، بخشی از آن شکسته شده و وارد محیط دیگری می‌شود و بخش دیگر از آن به محیط اول بازتابیده می‌شود در این صورت:



۱) پرتو باز تابیده‌شده از قانون عمومی بازتاب پیروی می‌کند و همان‌طور که در شکل می‌بینید، زاویه‌ی پرتو تابش با خط عمود بر مرز جدایی دو محیط با زاویه‌ی پرتو بازتاب با این خط، برابراست.

۲) پرتو شکسته شده از قانون شکست پیروی می‌کند، یعنی طبق شکل بالا می‌توان نوشت: $\frac{\sin\theta_۱}{\sin\theta_۲}=\frac{v_۲}{v_۱}$



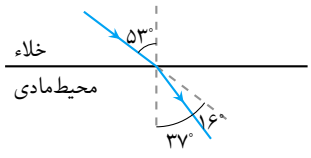
نکته: اگرچند محیط شفاف داشته باشیم که مرزهای جدایی آن‌ها موازی باشند و یک پرتوی نور از بین آن‌ها عبور کرده باشد، می‌توان گفت: در هر محیطی که زاویه‌ی این پرتوی نوری با خط عمود کوچک‌تر باشد، تندی نور در آن محیط کمتر و ضریب شکست آن محیط بیشتر است. مثلاً در شکل مقابل $n_۱ > n_۲ > n_۳$ است.

تست‌های این بخش:

تست ۱) یک پرتوالکترومغناطیسی با زاویه تابش ۵۳° از خلأ به مرز جدایی دو محیط تابیده و بعد از ورود به محیط دوم، ۱۶° از راستای اولیه‌اش منحرف می‌شود. اگر اختلاف طول‌موج این پرتو در دو محیط ۳۰۰km باشد، طول‌موج آن در خلال چند کیلومتر است؟ ($\sin ۳۷^\circ=\cos ۵۳^\circ=۰/۶$)

۱) ۸۰۰ ۲) ۹۰۰ ۳) ۱۲۰۰ ۴) ۱۵۰۰

پاسخ:

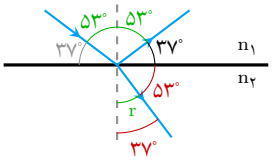


$$\frac{\sin ۵۳^\circ}{\sin ۳۷^\circ}=\frac{V_{\text{خلاء}}}{V_{\text{ماده}}}=\frac{\lambda_{\text{خلاء}}}{\lambda_{\text{ماده}}}\rightarrow\frac{۰/۸}{۰/۶}=\frac{\lambda_{\text{خلاء}}}{\lambda_{\text{ماده}}}=\frac{۴}{۳}=\frac{\lambda_i}{\lambda_r}\Rightarrow\lambda_i=\frac{۴}{۳}\lambda_r$$

$$\lambda_i-\lambda_r=۳۰۰\text{km}\rightarrow\frac{۴}{۳}\lambda_r-\lambda_r=۳۰۰\text{km}\rightarrow\frac{۱}{۳}\lambda_r=۳۰۰\rightarrow\lambda_r=۹۰۰\text{km}$$

$$\lambda_i-\lambda_r=۳۰۰\text{km}\rightarrow\lambda_i-۹۰۰=۳۰۰\rightarrow\lambda_i=۹۰۰+۳۰۰=۱۲۰۰\text{km}$$

پاسخ:

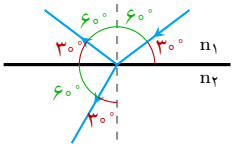


$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{\sin r}{\sin 53^\circ}\rightarrow\frac{1/2}{n_2}\rightarrow\frac{\sin 37^\circ}{0/8}=\frac{1/2}{n_2}=\frac{0/6}{0/8}\Rightarrow n_2=1/68$$

تست ۱۱) پرتوی از هوا با زاویه تابش 60° و سطح یک محیط شفاف تابیده‌شده است، به‌طوری‌که قسمتی از آن بازتاب شده و قسمتی نیز شکسته و وارد محیط شفاف می‌شود. اگر پرتوهای بازتاب و شکست بر هم عمود باشند، ضریب شکست محیط شفاف چه قدر است؟ $(n_{هوا}=1)$

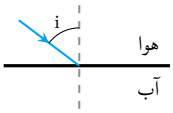
۱) $\sqrt{3}$ ۲) $\sqrt{2}$ ۳) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ۴) $\frac{2\sqrt{3}}{3}$

پاسخ:



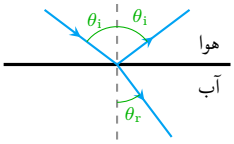
$$n_1\sin 60^\circ=n_2\sin 30^\circ\rightarrow 1\times\frac{\sqrt{3}}{2}=n_2\times\frac{1}{2}\Rightarrow n_2=\sqrt{3}$$

تست ۱۲) مطابق شکل زیر، پرتوی نوری به‌طور مایل به مرز جدایی هوا و آب برخورد می‌کند. اگر زاویه‌ی بین پرتوهای بازتابیده و شکست 90° درجه باشد، زاویه‌ی تابش چند درجه است؟ $(\sin 37^\circ=0/6,\ n_{آب}=\frac{4}{3})$



۱) 37° ۲) 53° ۳) 60° ۴) 72°

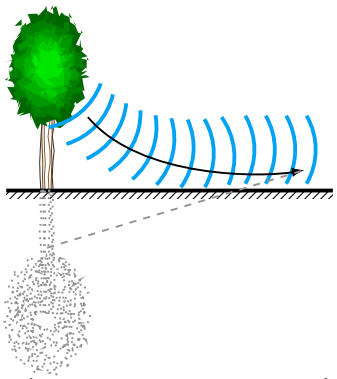
پاسخ:



$$\frac{n_{هوا}}{n_{آب}}=\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i}\rightarrow\frac{1}{\frac{4}{3}}=\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i}\rightarrow\frac{3}{4}=\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i}\Rightarrow\frac{3}{4}=\frac{\sin 37^\circ}{\sin 53^\circ}$$

$$\frac{3}{4}=\frac{\sin 37^\circ}{\sin 53^\circ}=\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i}\Longrightarrow\theta_r=37^\circ\quad,\quad\theta_i=53^\circ$$

سراب

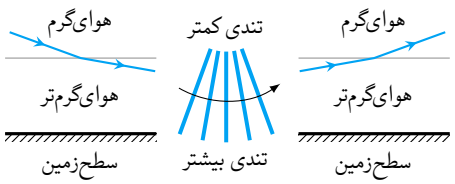


در روزهای بسیار گرم ممکن است تصویر اجسام مختلف مانند درختان، بوته‌ها و .... را روی زمین ببینید و تصور کنید که در آن منطقه آبگیری وجود دارد. به این پدیده سراب گویند.

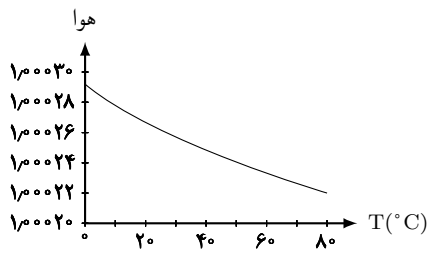
همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید علت دیده شدن سراب شکست امواج نوری است که از جسم موردنظر به چشم ما می‌رسد در ادامه چگونگی ایجاد پدیده سراب را دقیق‌تر بررسی می‌کنیم.

در روزهای گرم زمین بسیار داغ است و درنتیجه لایه‌های هوای نزدیک زمین نیز بسیار گرم می‌شوند. با افزایش دما، چگالی هوا کاهش پیداکرده و درنتیجه ضریب شکست لایه‌های هوای نزدیک به سطح زمین کمتر شده و تندی انتشار نور در نزدیکی سطح زمین بیشتر می‌شود.

بنابراین همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید آن قسمت از امواج نورانی که به سطح زمین نزدیک‌تر هستند با تندی بیشتری حرکت می‌کنند که باعث شکست نور می‌شود به نظر شخص بیننده این امواج از زمین به چشم او رسیده‌اند و فرد تصویر اجسام را روی سطح زمین می‌بیند و تصور می‌کند که در آنجا آبگیری وجود دارد.



نکته: همان‌طور که گفتیم با افزایش دما، چگالی هوا کاهش‌یافته با ضریب شکست هوا نیز کم می‌شود. نمودار تغییرات ضریب شکست هوا برحسب دما به‌صورت روبه‌رو است.

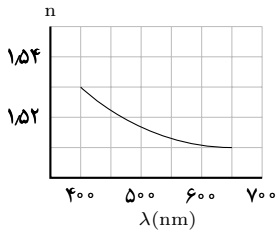


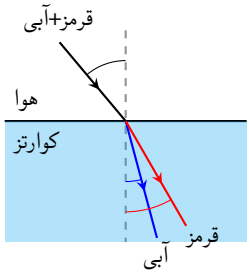
پاشندگی نور

ضریب شکست هر محیطی به‌جز خلأ به طول‌موج نور بستگی دارد. یعنی وقتی باریکه‌ی نوری شامل پرتوهایی با طول موج‌های مختلف باشد. این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخش‌شدگی نور، پاشندگی نور می‌گویند.

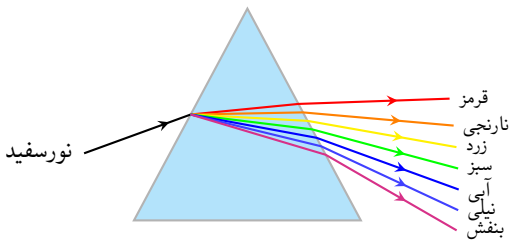
نکته:

۱) معمولاً ضریب شکست یک محیط معین برای طول‌موج‌های کوتاه‌تر، بیشتر است. همان‌طور که در نمودار زیر می‌بینید هر چه از پرتوی آبی به سمت قرمز برویم طول‌موج بیشتر شده با ضریب شکست کمتر می‌شود. بنابراین ضریب شکست قرمز کمتر از ضریب شکست آبی است و هنگامی‌که پرتوهای قرمز و آبی از محیطی به محیط دیگر وارد می‌شوند. پرتوهای قرمز نسبت به پرتوهای آبی کمتر شکسته می‌شوند. به شکل زیر شکل‌های زیر دقت کنید:

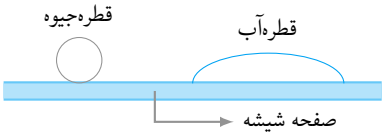


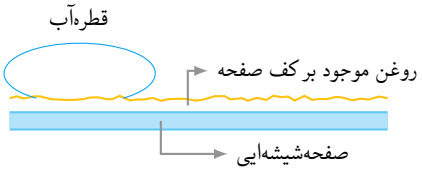


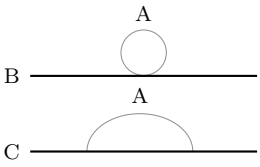
۲) اگر باریکه‌ی نور سفید به یک منشور بتابد. پرتوهای نور هم هنگام ورود به منشور و هم هنگام خروج از منشور شکسته می‌شوند و ازآنجایی‌که ضریب شکست پرتوهای مختلف متفاوت است با زاویه‌های متفاوتی شکسته می‌شوند و در اصطلاح نور سفید تجزیه می‌شوند. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید، نور قرمز کمترین شکست و نور بنفش بیشترین شکست را دارد.

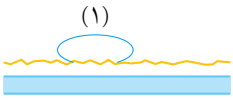


۱

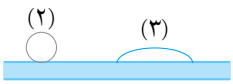




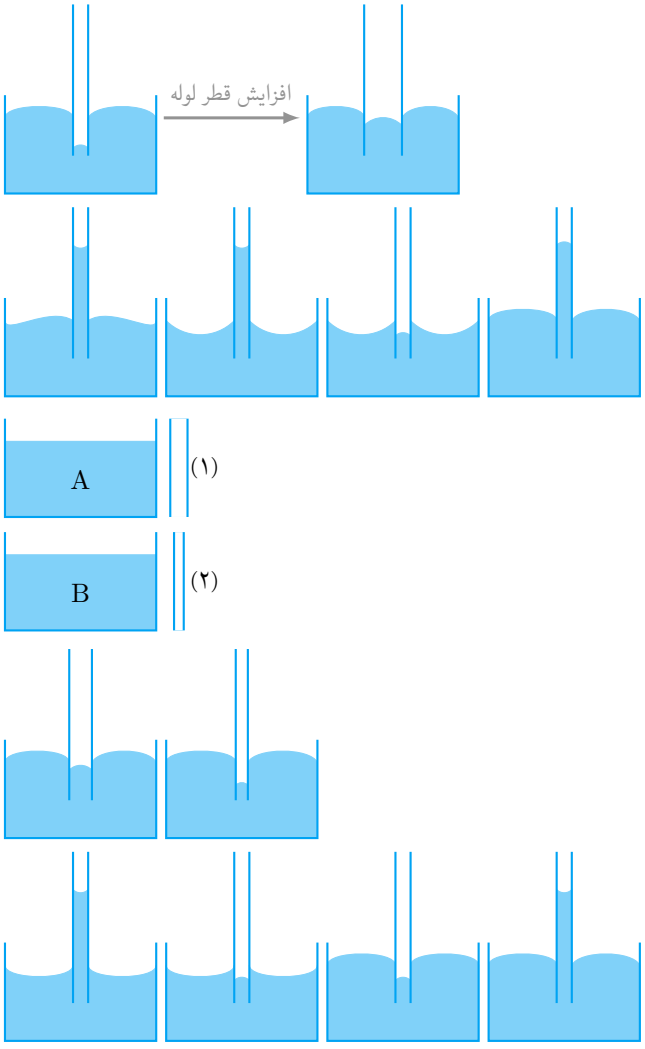


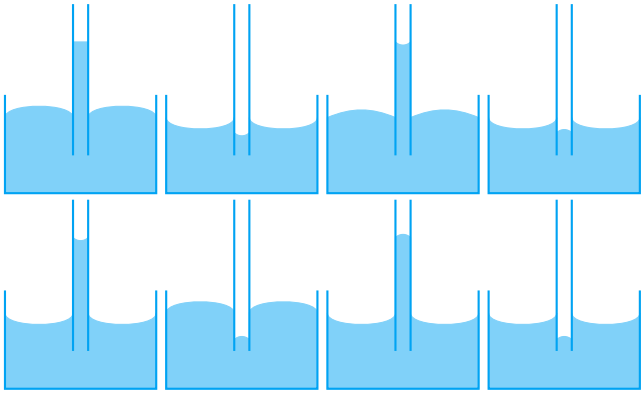


(الف) صفحه آغشته‌به‌روغن

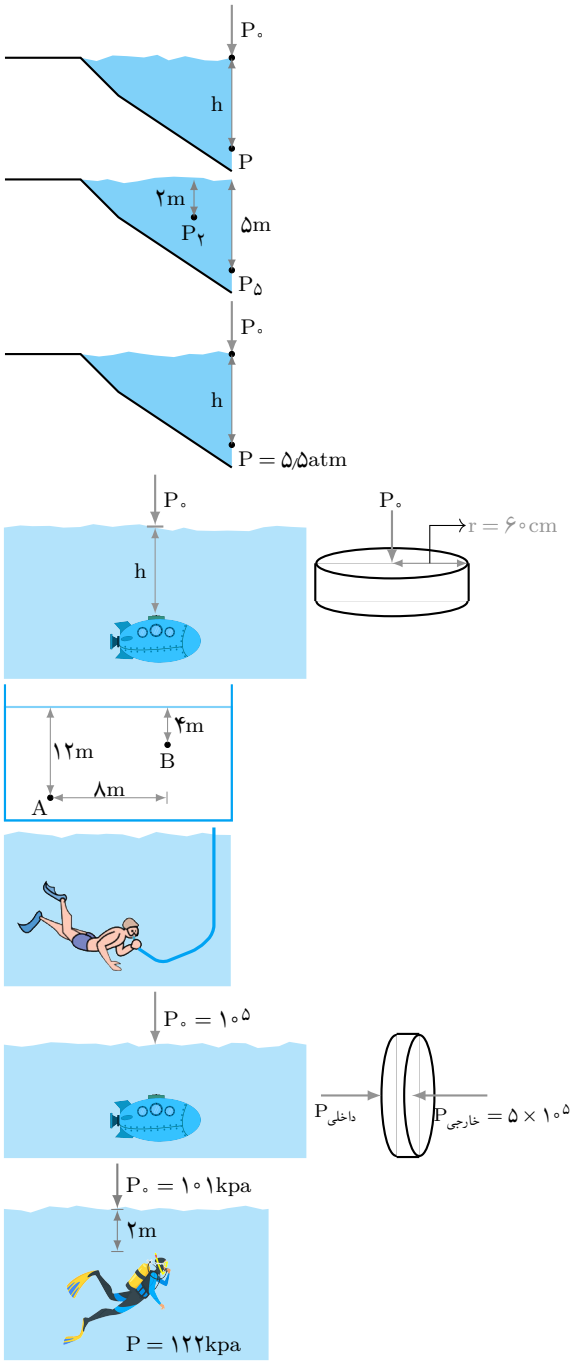


(ب) صفحه خشک‌وتمیز

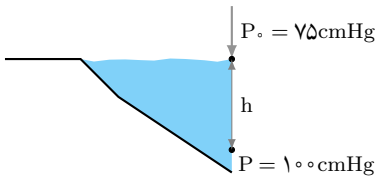


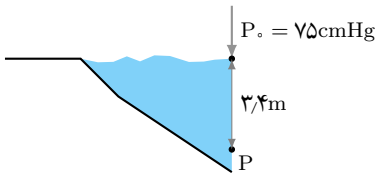


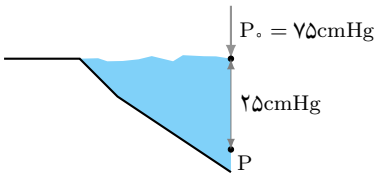
تصاویر درسنامه فشار در شاره‌ها رسم نگردیده است.

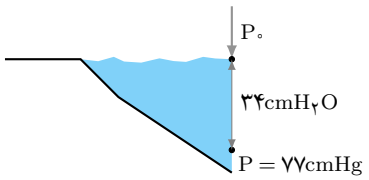


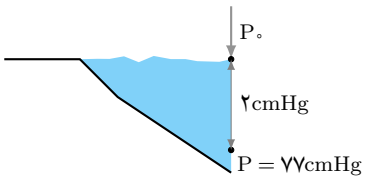
محاسبه فشار بر حسب سانتی متر جیوه

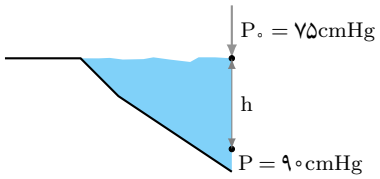


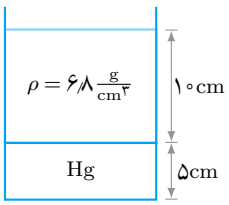




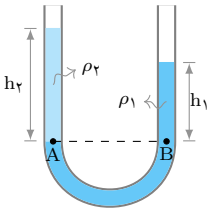


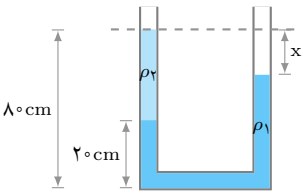


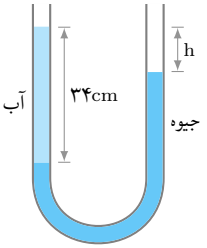


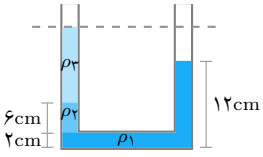


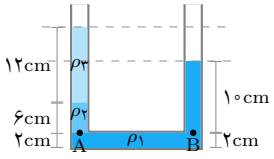
تعادل مایعات مخلوط نشدنی در لوله یو شکل

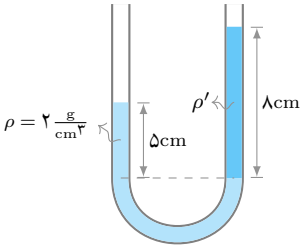


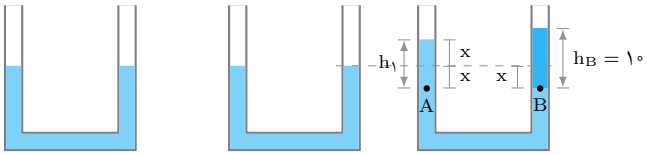


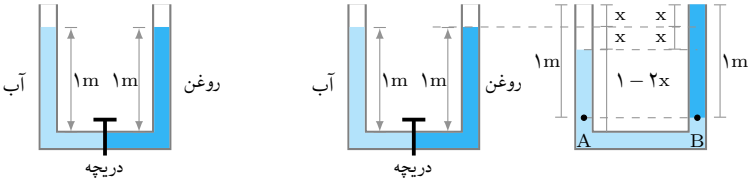


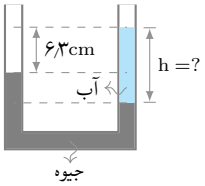


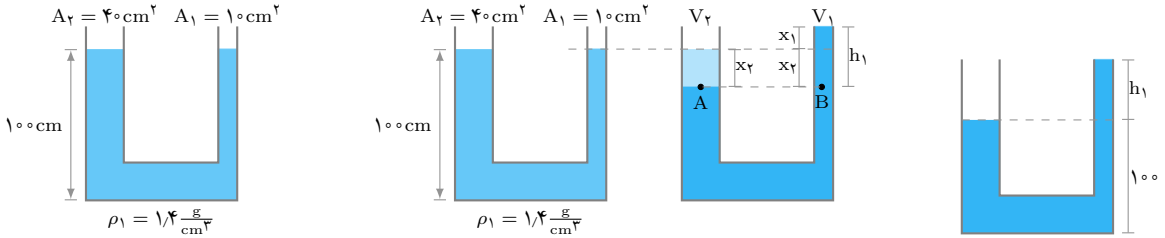


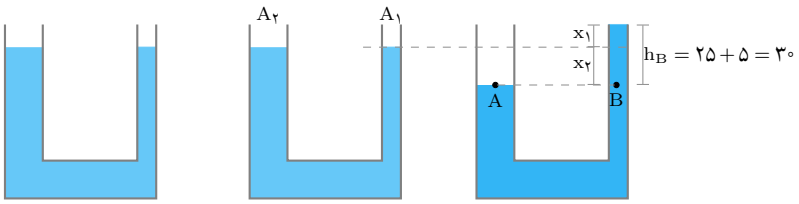




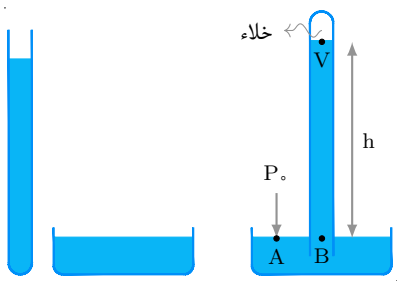




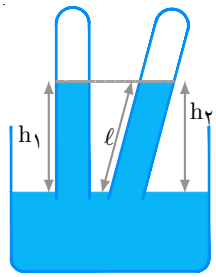


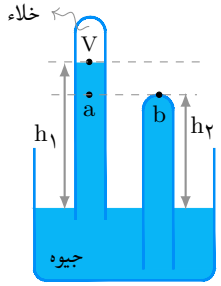


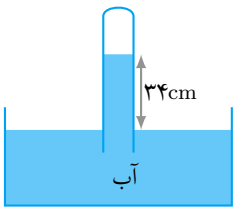
فشارسنج هوا(بارومتر)

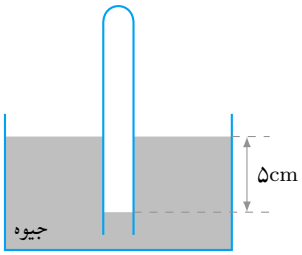


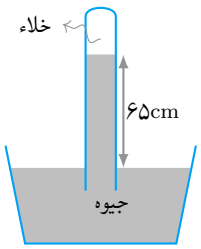
۵

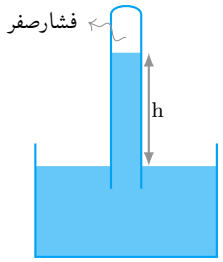

h۱
ℓ
h۲

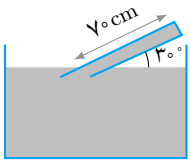

خلاء
V
a
b
h۱
h۲
جیوه

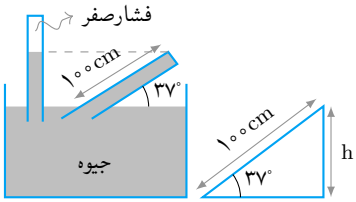

۳۴cm
آب


۵cm
جیوه

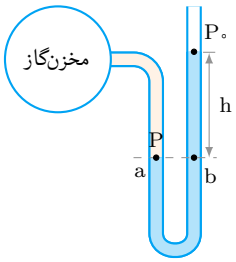

خلاء
۶۵cm
جیوه

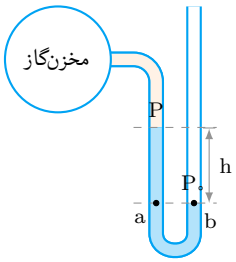

فشارصفر
h

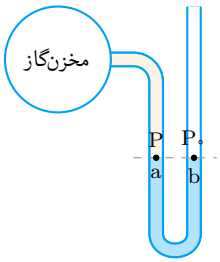


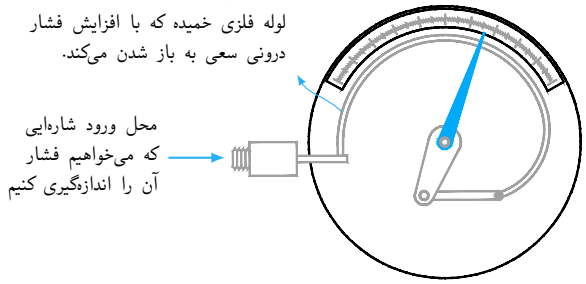


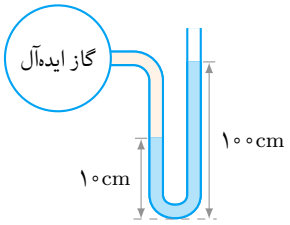
فشار سنج در شاره‌ها



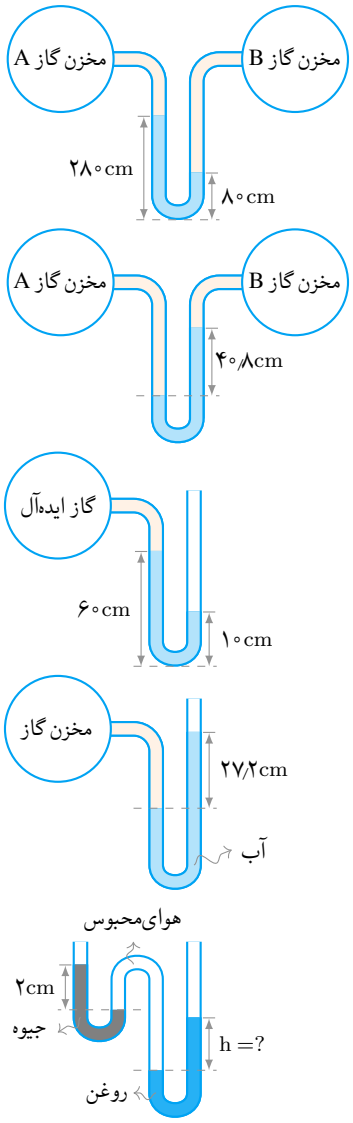








۷


مخزن گاز A
مخزن گاز B
۲۸۰cm
۸۰cm
مخزن گاز A
مخزن گاز B
۴۰٫۸cm
گاز ایده‌آل
۶۰cm
۱۰cm
مخزن گاز
۲۷٫۲cm
آب
هوای محبوس
۲cm
جیوه
h =?
روغن