**نوسان:**

نوسان تغییر تکرار شونده (در طول زمان) یک متغیر حول یک وضعیت تعادل است. حرکت آونگ نمونه‌ای از حرکت نوسانی است.

چرخه (سیکل): به تغییراتی که تکرار می‌شوند چرخه یا سیکل می‌گویند.

انواع نوسان:

۱. دوره ای ۲. غیر دوره ای

حرکت نوسانی دوره ای: نوسان هایی را که هر چرخه ی آن در دوره‌های دیگر دقیقاً تکرار شود ، نوسان دوره ای می‌نامند.

دوره تناوب (پریود): مدت زمان یک چرخه را دوره تناوب (پریود) حرکت می‌نامند و آن را با T نشان می‌دهند.

بسامد (فرکانس): بسامد یک نوسان ، تعداد نوسان های انجام شده (تعداد چرخه) در واحد زمان است و آن را با f نشان می‌دهیم. که از رابطه زیر بدست می‌آید:

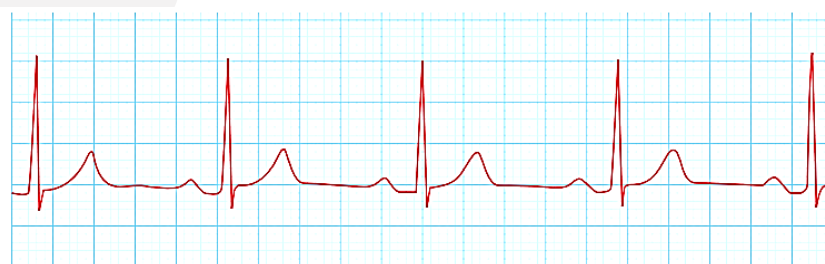
$$f = \frac{1}{T}$$

❖ یکای دوره تناوب از جنس زمان است و یکای بسامد با توجه به رابطه ی بالا عکس زمان می‌باشد.

یکای دوره تناوب در SI بر حسب ثانیه s و یکای بسامد در SI معکوس ثانیه می‌باشد $\frac{1}{s}$ یا s^{-1} که به افتخار فیزیکدان آلمانی "هاینریش هرتز" به طور اختصار Hz هرتز می‌نامند.

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ چرخه بر ثانیه} = 1 \text{ s}^{-1}$$

مثال: در شکل زیر نمودار ضربان قلب یک انسان را می‌بینیم:



قلب این فرد در هر دقیقه ۶۵ بار می‌تپد،

❖ دوره تناوب و بسامد نوسان تپش قلب به شکل زیر بدست می آید:

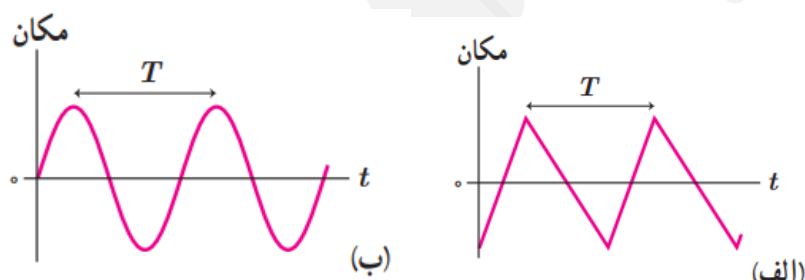
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.92s} = 1.09 \text{ Hz} \approx 1.1 \text{ Hz}$$

آیا تکان خوردن شاخه های درخت در باد و یا حرکت آونگ در یک شاره، دوره ای هستند یا خیر؟

پاسخ: هیچ کدام دوره ای نیستند، زیرا حرکتی دوره ای است که هر دور آن در دوره های دیگر دقیقاً تکرار می شود. در این موارد، هر دور دقیقاً تکرار نمی شود. مثلاً وقتی گلوله آونگ در آب قرار گیرد، آب موجب میرایی نوسان ها می شود و دامنه نوسان ها کاهش می یابد.

حرکت هماهنگ ساده:

در شکل زیر نمودار دو حرکت نوسانی دوره ای را مشاهده می کنید. در قسمت الف همانطور که می بینید حرکت رفت و برگشت نوسانی با سرعت ثابت انجام می گیرد ولی در شکل ب شیب در حرکت رفت و برگشت با گذشت زمان ملایم و تند می شود از آنجایی که شیب نمودار مکان - زمان نشان دهنده سرعت است پس سرعت به مرور زمان کم و زیاد می شود (به صورت سینوسی). هر دوی این نوسانات حرکت دوره ای هستند. اما اگر حرکت نوسان دوره ای مانند شکل ب سینوسی باشد آن را حرکت هماهنگ ساده می نامیم، پس:

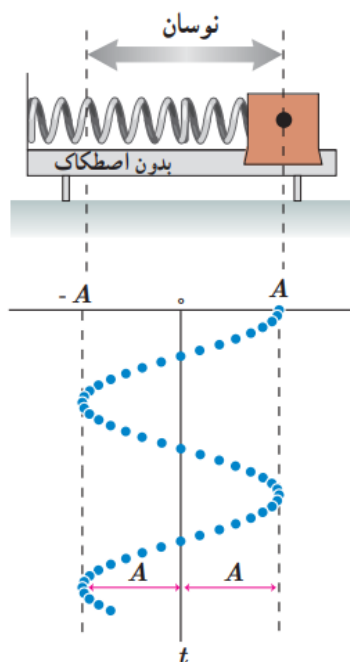


حرکت هماهنگ ساده (SHM): به نوسان های دوره ای سینوسی، حرکت هماهنگ ساده گفته می شود. (مانند حرکت نوسانی فنر)

دامنه حرکت (A): بیشینه فاصله جسم از نقطه تعادل در یک حرکت نوسانی را دامنه حرکت آن نوسان می گویند و با نماد A نشان می دهند.

نکته: در یک بار نوسان کامل، نوسانگر مسافتی به اندازه 4A را طی می کند.

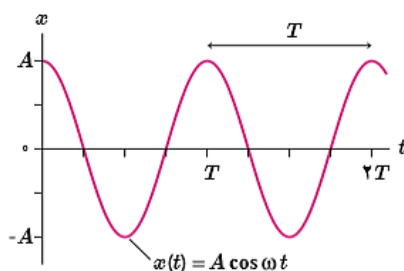
به شکل زیر توجه کنید: یک فنر در حال نوسان هماهنگ ساده است. جسم متصل به فنر در بازه ی -A الی +A در حال نوسان می باشد. که دامنه نوسان این حرکت مقدار A است.



نکته: در حرکت نوسان دوره ای اگر در مدت زمان t تعداد n نوسان انجام گیرد ، دوره تناوب نوسان گر یا بسامد آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$f = \frac{n}{t} \quad - \quad T = \frac{t}{n}$$

معادله حرکت هماهنگ ساده: همانطور که گفتیم حرکت هماهنگ ساده یک حرکت سینوسی است و نمودار مکان زمان آن را می توانیم به دو صورت سینوسی و کسینوسی رسم کنیم. ترجیح می دهیم در زمان $t=0$ مکان جسم در حال نوسان (نوسانگر) را در مکان بیشینه ی خود $x=+A$ در نظر داشته باشیم در این صورت نمودار به صورت زیر کسینوسی می شود :



و مکان $x(t)$ نوسانگر را در هر لحظه می توان از رابطه زیر بدست آورد:

معادله مکان - زمان در حرکت هماهنگ ساده : $x(t) = A \cos(\omega t)$

در این رابطه A دامنه نوسان بوده و یکای آن متر m است. t زمان می باشد که یکای آن ثانیه s است.

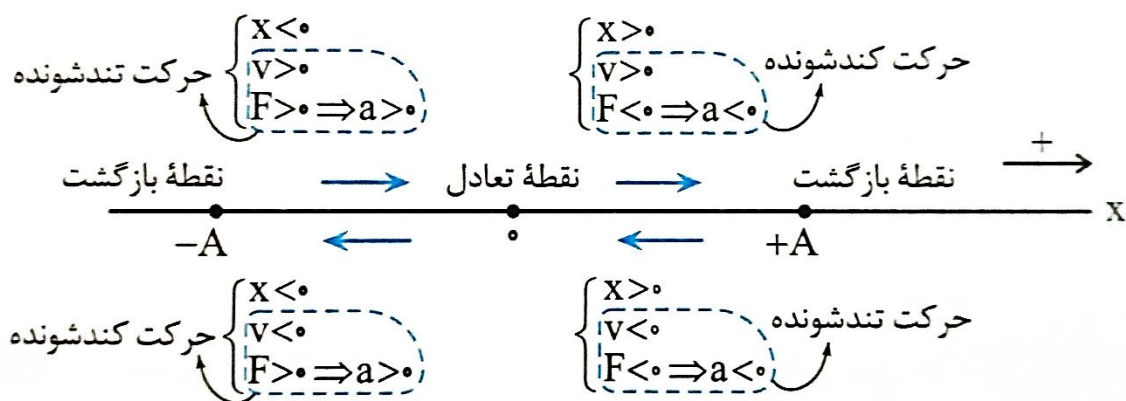
بسامد زاویه ای ω : در رابطه مکان-زمان حرکت هماهنگ ساده ω بسامد زاویه نام دارد که وابسته به دوره تناوب یا بسامد می باشد و از رابطه زیر قابل دسترس است:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

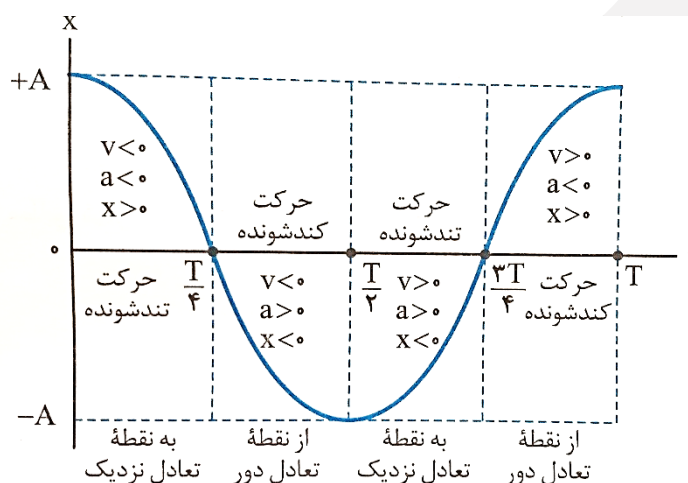
- ❖ بسامد زاویه ای کمیتی نرده ای بوده و یکای آن رادیان بر ثانیه می باشد (rad/s)
- ❖ دوره تناوب و بسامد و همچنین بسامد زاویه ای فقط به ویژگی های فیزیکی و ساختمان نوسانگر وابسته است و ربطی به دامنه A نوسان ندارد. (یعنی به طور مثال هر چه یک فنر را بیشتر یا کمتر بکشیم تاثیری در دوره و بسامد آن نخواهد داشت و یکسان خواهد بود)
- ❖ در رابطه مکان-زمان هماهنگ ساده یکای ωt رادیان است.

چندین نکته در باب حرکت هماهنگ ساده و نمودار و فرمول آن:

- حرکت هماهنگ ساده حرکتی رفت و برگشتی است که حول نقطه تعادل که دقیقاً در مرکز حرکت رفت و برگشت قرار دارد انجام می پذیرد
- نیروی وارد بر جسم نوسان کننده متغیر است و همواره جهت نیرو به سمت نقطه تعادل می باشد.
- با توجه به اینکه نیرو متغیر است پس شتاب حرکت نیز متغیر بوده و همواره جهت آن به سمت نقطه تعادل می باشد.
- حال که در یافتیم این حرکت با شتاب متغیر است پس در بازه های زمانی تغییرات سرعت و مکان جسم نیز متغیر بوده و یکسان نیست.
- نمی توان در حرکت هماهنگ ساده از روابط حرکت با شتاب ثابت استفاده نمود.
- در این حرکت به صورت مداوم تبدیل انرژی جنبشی به پتانسیل و برعکس انجام می گیرد.
- سرعت جسم در حال نوسان در $x = \pm A$ صفر بوده و در نقطه تعادل $x = 0$ مقدار بیشینه است.
- حرکت آونگ ساده بدون در نظر گرفتن نیروهای اتلافی هم حرکت هماهنگ ساده است و از روابط آن پیروی می کند.
- علامت کمیت های مکان، سرعت، و شتاب یک جسم در حال نوسان روی محور X به صورت زیر است :



بررسی نمودار مکان - زمان حرکت هماهنگ ساده:

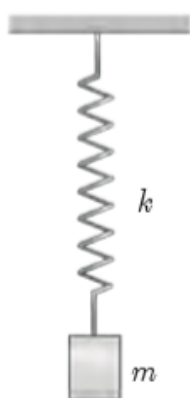


نکاتی در باره زمان در حرکت هماهنگ ساده:

- مدت زمان یک رفت و برگشت کامل در حرکت هماهنگ ساده برابر T است.
- اگر نوسانگر از نقطه ی تعادل $x=0$ به نقاط $+A$ یا $-A$ جابجا بشود (یا برعکس) مدت زمان این جابجایی برابر یک چهارم دوره T خواهد بود یعنی: $\Delta t = \frac{T}{4}$
- اگر نوسانگر از نقطه تعادل $x = 0$ به نقاط نصف دامنه نوسان یعنی $x = \pm \frac{A}{2}$ برود (یا برعکس) مدت زمان این جابجایی $\Delta t = \frac{T}{12}$ می شود.
- همچنین اگر متحرک از نقطه نصف دامنه نوسان یعنی $x = \pm \frac{A}{2}$ به نقاط $x = \pm A$ جابجا شود زمان جابجایی برابر: $\Delta t = \frac{T}{6}$ می شود.
- اگر متحرک از فاصله $\pm \frac{\sqrt{3}}{2} A$ نقطه ی تعادل به نقطه $x = 0$ جابجا شود زمان جابجایی برابر: $\Delta t = \frac{T}{8}$ می شود.

- همچنین اگر متحرک از فاصله $\pm \frac{\sqrt{2}}{4} A$ نقطه ی تعادل به نقطه $x = \pm A$ جابجا شود زمان جابجایی برابر $\Delta t = \frac{T}{8}$ می شود.

سامانه جرم - فنر : اگر یک جسم به جرم m را به فنری با ضریب سختی K ببندیم و آن را از حالت تعادل خارج کرده و رها کنیم شروع به نوسان خواهد کرد به این وسیله ، سامانه جرم- فنر می گوییم.



دوره تناوب ، بسامد و بسامد زاویه ای در سامانه جرم- فنر :

آزمایش های متعدد نشان داده است که دوره تناوب سامانه جرم- فنر با افزایش جرم جسم افزایش پیدا می کند ، یعنی فنر کندتر نوسان می کند و همچنین اگر فنر را تعویض کنیم ، با افزایش ثابت فنر K دوره تناوب سامانه کاهش پیدا می کند ، یعنی هرچه سختی فنر بیشتر باشد نوسان سریعتر انجام می گیرد. (و برعکس)

محاسبات نشان می دهد که دوره تناوب سامانه جرم- فنر از رابطه زیر بدست می آید:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

با توجه به اینکه بسامد معکوس دوره تناوب است پس می توانیم بنویسیم :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

همچنین با توجه به رابطه $\omega = 2\pi f$ یا $\omega = \frac{2\pi}{T}$ برای بسامد زاویه ای می توانیم بنویسیم:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

توجه!

- دوره تناوب سامانه جرم - فنر فقط به جرم وزنه و ثابت فنر بستگی دارد و به دامنه نوسان و شتاب گرانشی بستگی ندارد.
- با افزایش جرم جسم متصل به فنر دوره تناوب افزایش یافته و بسامد کاهش می یابد.
- با افزایش سختی فنر (ثابت فنر) دوره تناوب کاهش و بسامد افزایش می یابد.

مقایسه دوره تناوب یا بسامد دو سامانه جرم-فنر متفاوت :

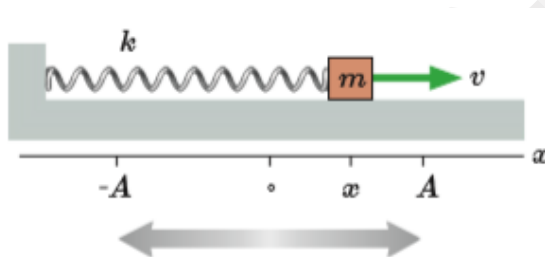
$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1} \times \frac{k_1}{k_2}}$$

سرعت بیشینه در سامانه جرم-فنر: سرعت بیشینه نوسان در نقطه تعادل $x=0$ می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$v_{max} = A\omega$$

انرژی در حرکت هماهنگ ساده:

برای حرکت هماهنگ ساده سامانه جرم-فنر را در نظر می گیریم که در یک سطح افقی بدون اصطکاک با دامنه $\pm A$ نوسان می کند.



در این سامانه هنگامی که فنر کشیده می شود انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره می شود و زمانی که فنر به نقطه تعادل حرکت می کند این انرژی به انرژی جنبشی تبدیل می شود.

انرژی جنبشی در $x = 0$ (نقطه تعادل) بیشینه و در نقاط $x = \pm A$ صفر است.

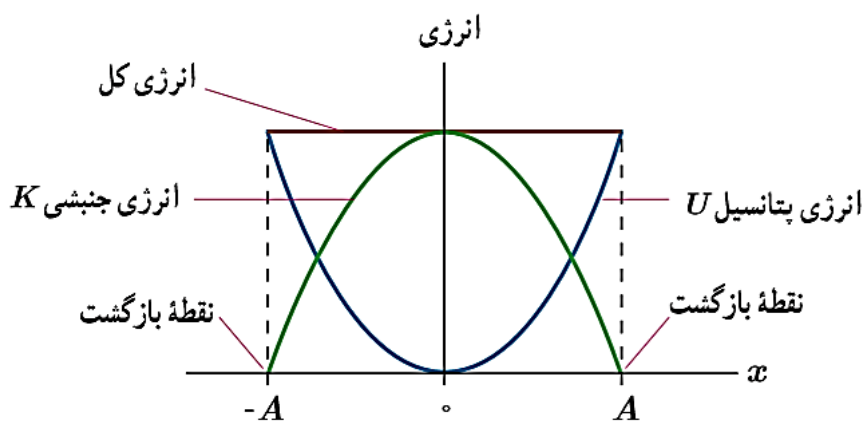
همچنین انرژی پتانسیل در نقاط $x = \pm A$ بیشینه و در نقطه تعادل صفر است.

مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی این سامانه که انرژی مکانیکی E نامیده می شود ، همواره ثابت است.

$$E = K + U$$

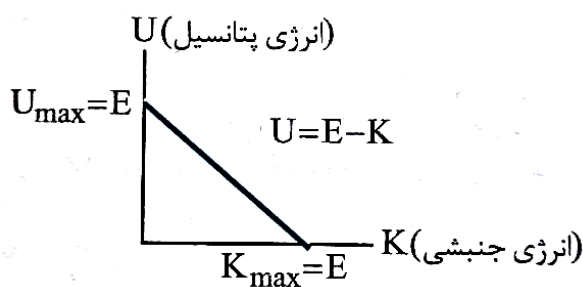
توجه! بیشینه انرژی پتانسیل برابر با بیشینه انرژی جنبشی می باشد.

می توانیم تبدیل این دو انرژی به یک نوسانگر را به صورت زیر نمایش دهیم:



با توجه به نمودار بالا: زمانی که سامانه در حال بازگشت به نقطه تعادل است، انرژی پتانسیل کاهش و انرژی جنبشی افزایش پیدا می کند و همچنین زمانی که سامانه از نقطه تعادل به سمت نقاط بازگشت (A) در حال حرکت است انرژی پتانسیل افزایش و انرژی جنبشی در حال کاهش است، البته در هر حالتی مجموع این دو انرژی ثابت است.

نمودار انرژی پتانسیل - انرژی جنبشی: در حرکت هماهنگ ساده به شکل زیر می باشد: با افزایش انرژی جنبشی انرژی پتانسیل کاهش می یابد و برعکس:



انرژی مکانیکی سامانه جرم-فنر را می توانیم از رابطه زیر بدست بیاوریم:

$$E = \frac{1}{2} k A^2$$

که در آن k ثابت فنر و A دامنه نوسان است.

می توانیم با روابطی که خوانده ایم ثابت فنر را از معادله انرژی مکانیکی حذف کنیم تا رابطه برای هر سامانه ی دیگری هم صدق کند پس داریم :

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = 2\pi^2 m A^2 f^2$$

پس برای انرژی مکانیکی تمام سامانه هایی که حرکت هماهنگ ساده انجام می دهند می توانیم بنویسیم:

$$E = 2\pi^2 mA^2 f^2$$

با توجه به رابطه بالا در می یابیم که انرژی مکانیکی هر نوسانگر هماهنگ ساده ای متناسب با مربع دامنه نوسان A^2 و مربع بسامد f^2 است.

توجه! انرژی مکانیکی سامانه با بیشینه انرژی پتانسیل و همچنین با بیشینه انرژی جنبشی برابر است.

آونگ ساده:



شامل وزنه کوچکی به جرم m (موسوم به وزنه آونگ) است که از نخ بدون جرم و کش نیامدنی به طول L که سر دیگر آن ثابت شده، آویزان است.

اگر زاویه انحراف آونگ از وضع تعادل کوچک باشد (کمتر از ۱۵ درجه) آونگ حرکت هماهنگ ساده خواهد داشت و همان تبدیل های انرژی نوسانگر هماهنگ ساده در اینجا نیز رخ می دهد.

توجه! دوره تناوب T آونگ ساده فقط به شتاب گرانشی g و طول آونگ L بستگی دارد. و رابطه زیر برقرار است:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

با توجه به رابطه بالا در می یابیم که دوره تناوب به جرم وزنه آونگ یا دامنه نوسان بستگی ندارد.

نکته: اگر یک ساعت آونگ دار داشته باشیم، با افزایش دوره تناوب آونگ، ساعت کند تر کار خواهد کرد و برعکس.

نکته: اگر دو آونگ با دوره های تناوب T_1 و T_2 داشته باشیم به طوری که $(T_2 > T_1)$ باشد، یعنی آونگ ۱ سریعتر باشد. و هر دو هم زمان شروع به نوسان کنند، آونگ ۱ که سریعتر است تعداد نوسان بیشتری انجام خواهد داد و در اصطلاح جلو خواهد افتاد، اگر پس از گذشت زمان Δt که آونگ ۱ به اندازه N نوسان از آونگ ۲ جلو بیوفتد و دوباره بر هم منطبق شوند (یعنی هر دو دوباره به یک شکل نوسانی بیوفتند) زمانی که این دو دوباره بر هم منطبق شده اند از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta t = N \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$$

نکته: برای مقایسه دوره تناوب دو آونگ از رابطه مقایسه ای زیر استفاده می کنیم:

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1} \times \frac{g_1}{g_2}}$$

برای مقایسه بسامد نوسان این رابطه (یا نتیجه این رابطه) معکوس می شود.

آونگ در آسانسور:

اگر آونگی داخل آسانسور قرار بگیرد، و آسانسور با شتاب a در حال حرکت باشد، در رابطه دوره تناوب آونگ باید به جای g از رابطه $g' = g \pm a$ استفاده کنیم، اگر شتاب آسانسور رو به بالا باشد علامت $+$ و اگر شتاب آسانسور رو به پایین باشد علامت $-$ را در رابطه قرار می دهیم.

اگر آسانسور سقوط آزاد کند، آونگ کار نمی کند.

مبحث تشدید:

بسامد طبیعی: به بسامد سامانه های نوسانی که بدون نیروی خارجی شروع به نوسان می کنند، بسامد طبیعی می گویند مانند بسامد سامانه فنر یا آونگ که در مطالب قبلی ذکر شده است.

توجه: نوسان هایی که بدون نیروی خارجی در حال نوسان هستند، نوسان آزاد می باشند. اگر نیروی های اتلافی انرژی نوسانگر را تلف کنند نوسان آزاد میرا تشکیل می شود که در آن دامنه نوسان رفته رفته کاهش می یابد.

نوسان واداشته: اگر سامانه نوسانی تحت تاثیر نیروی خارجی قرار بگیرد و با بسامدی دیگر به نوسان ادامه دهد می گوئیم سامانه دارای نوسان واداشته است.

توجه: نوسان های واداشته نوسانی دوره ای بوده و انرژی که در اثر اصطکاک به هدر می رود توسط نیروی خارجی دوره ای جبران می شود.

توجه: بسامد نوسان طبیعی را با نماد f و نوسان واداشته را با نماد f_a نشان می دهیم.

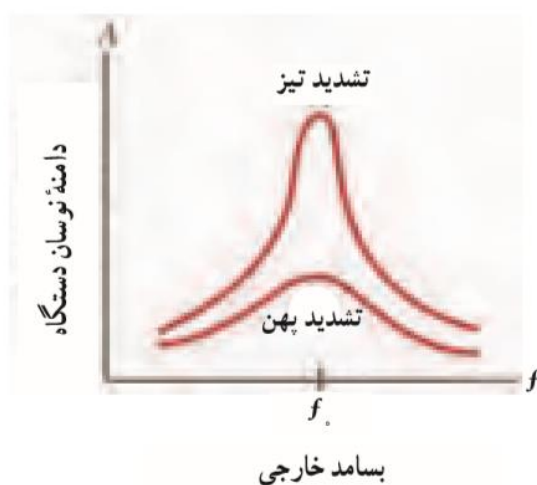
مثال: اگر یک تاب را هل دهیم چون نیروی خارجی به آن وارد می شود یک نوسان واداشته می باشد ولی اگر تاب را رها کنیم یک نوسان آزاد رخ خواهد داد.

نوسان میرا: ممکن است دامنه نوسان یک نوسانگر در اثر وجود نیروهای اتلافی مانند اصطکاک و مقاومت هوا با گذشت زمان کاهش یابد و در آخر بایستد. به این گونه نوسان، نوسان میرا می گویند.

تشدید: اگر بسامد نیروی وارد بر نوسانگر (نیروی محرک) با بسامد طبیعی نوسانگر برابر باشد ($f = f_d$)، بهترین وضعیت برای انتقال انرژی به آن ایجاد شده و به این ترتیب دامنه نوسان افزایش می یابد و می گوییم تشدید رخ داده است.

تشدید تیز و تشدید پهن: اگر میرایی سامانه ی در حال نوسان، کم باشد، پدیده تشدید بزرگتر و واضح تر رخ می دهد که به اصطلاح می گوییم تشدید تیز رخ داده، در این حالت اگر بسامد نیروی خارجی اندکی با بسامد طبیعی سامانه تفاوت داشته باشد، به سرعت دامنه نوسان کاهش می یابد.

اگر میرایی سامانه زیاد باشد دامنه نوسان در اثر تشدید چندان بارز نمی شود، که به آن تشدید پهن می گویند. همچنین در اثر تفاوت بسامد نیروی دوره ای خارجی با بسامد طبیعی سامانه، دامنه به سرعت کم نمی شود.



موج و انواع آن:

قبل از تعریف موج، انواع آن را می نامیم.

انواع موج از نظر محیط انتشار:

۱. موج مکانیکی
۲. موج الکترومغناطیسی

موج مکانیکی: هرگاه در یک محیط کشسان، ارتعاشی به وجود بیاید، موجب پدید آمدن ارتعاش های پی در پی دیگری می شود که از محل شروع ارتعاش دور و دورتر می شوند که به آن موج مکانیکی گفته می شود.

مانند: موج های ایجاد شده در آب یا فنر

توجه! که به هر محیطی که مثل کش یا فنر خاصیت ارتجاعی داشته باشد، **محیط کشسان** می گویند. در واقع محیط کشسان به گونه ای است که هرگاه در آن اختلال یا تغییر شکلی ایجاد کرده و محیط را به حال خود رها کنیم، نیروهای

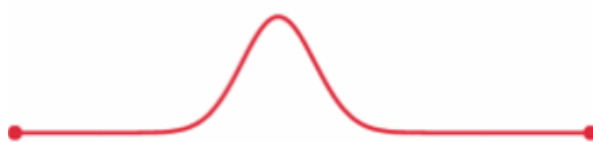
کشسانی ایجاد شده بین اجزای محیط آن را به حالت اولیه خود بر می گرداند. بیشتر جامدها و مایع ها و گازها خاصیت کشسانی دارند.

توجه! برای انتشار امواج مکانیکی به محیط مادی نیاز داریم.

موج الکترومغناطیسی: این نوع موج از ارتعاش بارهای الکتریکی متحرک ایجاد می شوند و برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند.

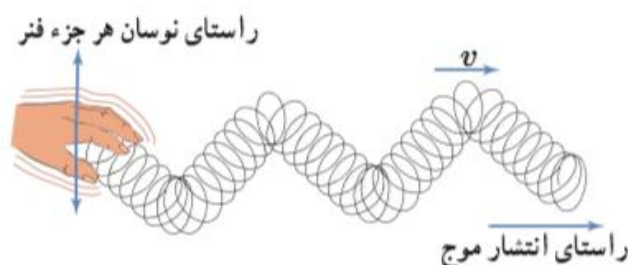
مانند: امواج رادیویی و تلویزیونی، نور مرئی، پرتو ایکس و ...

تپ (پالس): به هر گونه تغییر شکل یا آشفتگی در یک محیط کشسان تپ گویند .

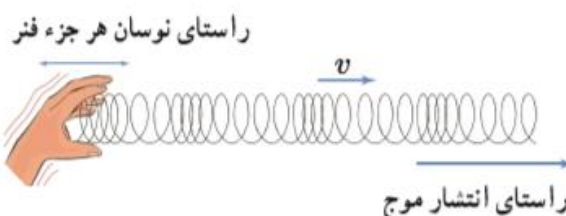


انواع موج از لحاظ نحوه ی انتشار :

۱. موج عرضی: اگر راستای ارتعاش بر راستای انتشار عمود باشد می گوئیم موج عرضی است.



۲. موج طولی: اگر راستای ارتعاش با راستای انتشار موج یکسان باشد می گوئیم موج طولی است.



نکته: گاز ها توانایی تولید موج عرضی را ندارند و شکل موج ایجاد شده در آن ها طولی می باشد.

امواج صوتی از نوع **طولی** و امواج الکترومغناطیسی از نوع **عرضی** هستند.

موج های پیش رونده: موج هایی که از یک نقطه به نقطه ی دیگر حرکت کرده و انرژی را با خود منتقل می کند را موج پیش رونده می نامند.

پس موج های عرضی و طولی که ذکر کردیم جزو امواج پیش رونده می باشد.

توجه! نوع دیگری از موج به نام موج ایستاده هم وجود دارد که در ادامه به آن هم خواهیم پرداخت.

توجه! این موج است که از یک نقطه به نقطه ی دیگر حرکت می کند و نه ماده ای که موج در آن حرکت می کند. به عنوان مثال اگر یک تکه چوب را روی آب بیاندازیم ، موج عبوری روی آب ، چوب را به جلو نمی برد بلکه فقط به بالا و پایین نوسان می دهد.

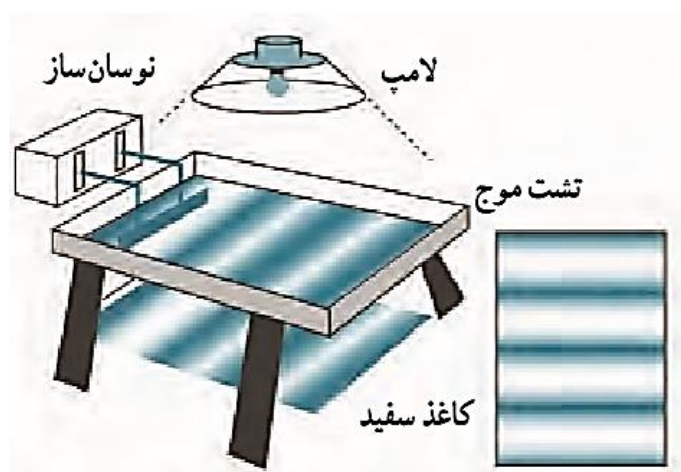
چشمه موج:

چشمه موج، نوسانگری است که می تواند با بسامد و دامنه ثابتی، حرکت نوسانی ساده انجام دهد. دیپازون یکی از وسیله هایی است که به عنوان چشمه موج در آزمایش ها به کار برده می شود. این وسیله یک تیغه یو (U) شکل است که دسته ای به آن متصل است و اگر ضربه ای به یکی از شاخه های آن بزنیم، هر دو شاخه به نوسان درمی آیند.



مشخصه های موج:

تشت موج: برای مطالعه برخی از مشخصه های موج از وسیله ای به نام تشت موج استفاده می شود. شکل زیر:



این وسیله شامل یک تشت شیشه ای کم عمق که داخلش آب می باشد و یک نوسان ساز است. لامپ بالای تشت سایه امواج ایجاد شده را در زیر تشت نمایان می کند. می توان برآمدگی و فرورفتگی امواج آب را به خوبی در کاغذ زیر تشت نشان داد.

توجه: اگر از یک تیغه ی راست برای ایجاد موج استفاده کنیم، امواج مسطح و اگر از یک گوی مانند شکل زیر برای ایجاد امواج استفاده کنیم، امواج دایره ای ایجاد می شود.

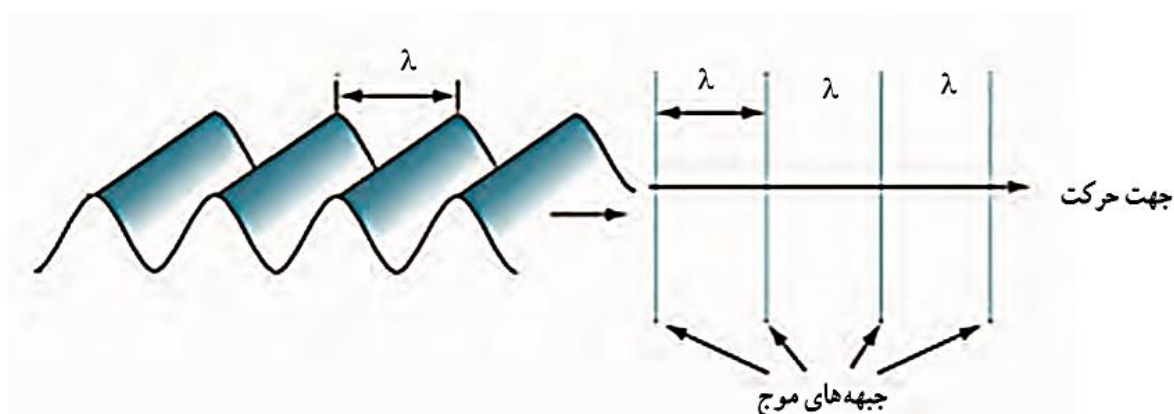


جبهه موج: به هر یک از برآمدگی ها و فرورفتگی های موج، جبهه موج می گویند.

توجه: به برآمدگی ها قله (ستیف) و به فرورفتگی ها دره (پاستیف) می گویند.

طول موج: به فاصله دو برآمدگی یا فرورفتگی مجاور طول موج می گویند. و با نماد λ (لامبدا یا لاندا) نشان می دهند.

توجه! طول موج λ برابر با مسافتی است که موج در مدت دوره تناوب نوسان چشمه طی می کند.



دامنه موج (A): بیشینه فاصله یک ذره از مکان تعادل، دامنه موج نامیده می شود. که همان فاصله ی قله یا دره از حالت تعادل می باشد.

دوره تناوب موج (T): مدت زمانی که هر ذره ی محیط یک نوسان کامل انجام می دهد دوره تناوب موج نامیده می شود. که برابر با زمانی است که چشمه موج یک نوسان کامل انجام می دهد.

بسامد موج (f): تعداد نوسان های انجام شده توسط هر ذره ی محیط در یک ثانیه بسامد موج نامیده می شود. که برابر با بسامد چشمه موج نیز هست. بنابراین: $f = \frac{1}{T}$

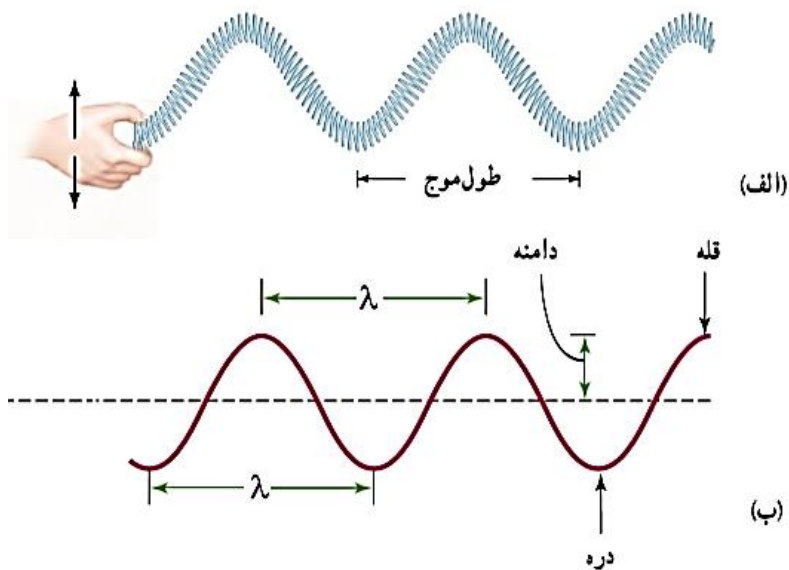
تندی انتشار موج (v): اگر جبهه موج در مدت Δt مسافت L را طی کند، تندی انتشار موج از رابطه $v = \frac{L}{\Delta t}$ بدست می آید. از آنجا که طول موج λ در مدت زمان T (یک دوره) طی می شود، داریم:

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

نکته: تندی انتشار موج به جنس و ویژگی های انتشار محیط بستگی دارد. و در یک محیط مقدار ثابتی است مگر اینکه محیط یا ویژگی های محیط تغییر کند.

موج عرضی و مشخصه های آن:

موج عرضی ایجاد شده (مثلا در یک فنر) را می توان با شکل موجی سینوسی مدلسازی کرد. شکل زیر:



در این شکل می‌توانید مشخصات موج مانند طول موج، دامنه و قله و دره را مشاهده کنید.

توجه! تندی انتشار امواج عرضی هم از رابطه

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

بدست می‌آید. البته می‌توانیم برای محیط‌هایی مانند طناب، سیم تار و یا فنر با استفاده از ویژگی‌های محیط انتشار، سرعت انتشار در این نوع محیط‌ها را بدست آوریم:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

که در این رابطه F نیروی کشش، و μ چگالی خطی جرم $\mu = \frac{m}{L}$ می‌باشد (یعنی مقدار جرم در واحد طول - یک متر - از طناب، فنر و ...)

اگر چگالی (ρ) و سطح مقطع (A) سیم یا طناب موجود باشد می‌توانیم بنویسیم:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$$

نکته: در اجسام کشسان مانند فنر، هرچه سختی جسم بیشتر و چگالی آن کمتر باشد، تندی انتشار موج بیشتر می‌شود.

امواج الکترومغناطیسی:

عامل اصلی ایجاد موج های الکترومغناطیسی ، ذرات باردار شتاب دار هستند. یعنی وقتی ذره ی باردار شتاب دار می شود ، بخشی از انرژی خود را به صورت موج های الکترومغناطیسی گسیل می کند. به گسیل موج های الکترومغناطیسی توسط اجسام تابش می گویند.

توجه! در اثر تغییر میدان مغناطیسی در فضا میدان الکتریکی تولید می شود و در اثر تغییر میدان الکتریکی نیز میدان مغناطیسی تولید می شود.

موج های الکترومغناطیسی از دو میدان مغناطیسی و الکتریکی تشکیل شده اند، به طوری که این میدان ها بر هم و بر راستای انتشار موج عمودند.

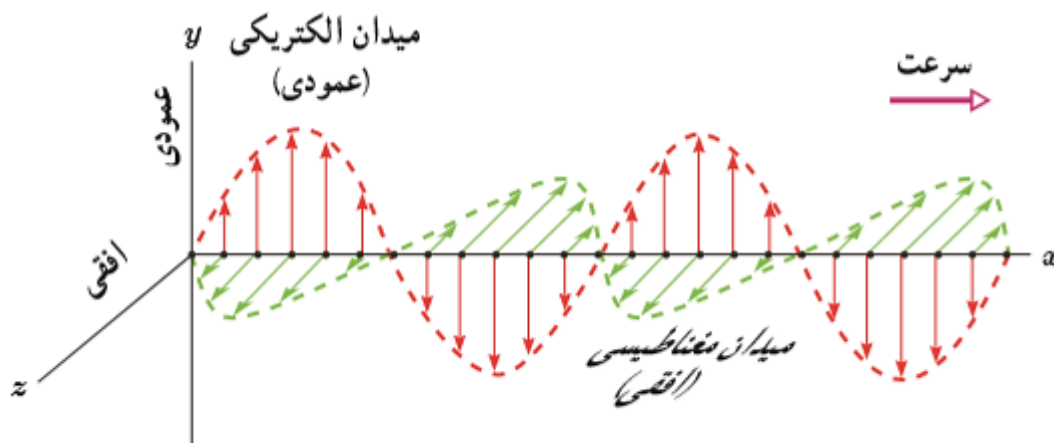
همه موج های الکترومغناطیسی در خلا با سرعت $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ منتشر می شود.

امواج الکترومغناطیسی برای انتشار نیازی به محیط مادی ندارند و انرژی را از محلی به محل دیگر منتقل می کنند.

این امواج جزو امواج عرضی هستند زیرا میدان های مغناطیسی و الکتریکی هر دو بر راستای انتشار موج عمودند.

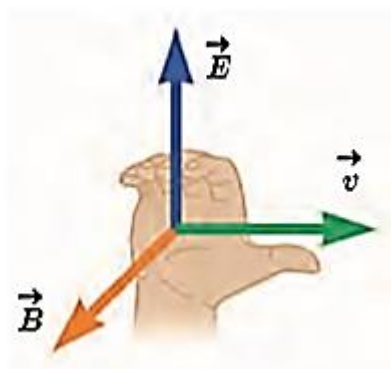
مواردی که برای موج های مکانیکی خوانده ایم برای امواج الکترومغناطیسی نیز صادق هستند.

میدان های الکتریکی و مغناطیسی با بسامد و طول موج یکسان و همگام با یکدیگر تغییر می کنند.



تعیین جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی:

با استفاده از قاعده ی دست راست می توانیم جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را بدست آوریم به این صورت که چهار انگشت دست راست خود را در جهت میدان الکتریکی E قرار می دهیم و سپس این انگشتان را به سمت میدان مغناطیسی B خم می کنیم شصت نشان دهنده جهت انتشار می باشد.



تندی انتشار موج الکترومغناطیسی:

تندی امواج الکترومغناطیسی در خلاء از رابطه زیر بدست می آید:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

در این رابطه μ_0 تراوایی مغناطیسی خلاء است که برابر با مقدار $4\pi \times 10^{-7} T \cdot m/A$ و ϵ_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلاء و برابر $8/85 \times 10^{-12} C^2/N \cdot m^2$ می باشد.

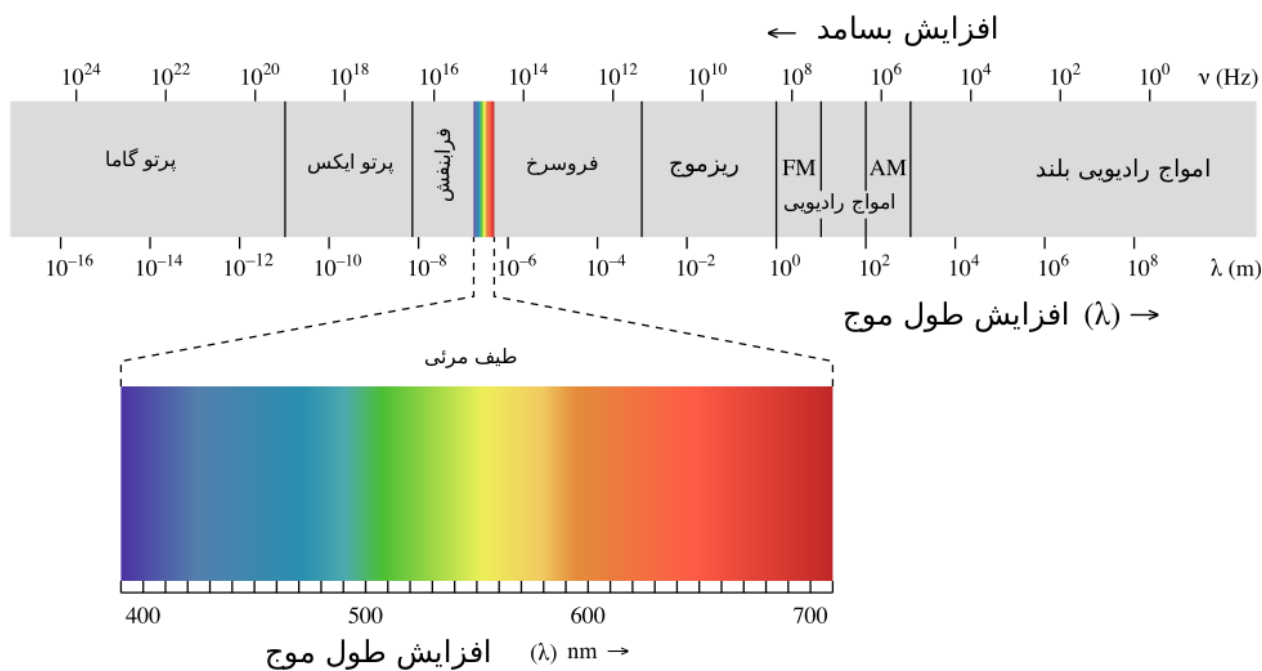
توجه! مقدار c با توجه به این رابطه $3 \times 10^8 m/s$ که همان سرعت نور در خلاء می باشد.

با توجه به این مطالب در می یابیم که نور نیز یک موج الکترومغناطیسی می باشد.

توجه! در سایر محیط های مادی سرعت امواج الکترومغناطیسی به تناسب ضریب شکست محیط ، تغییر می کند و نسبت به خلا کاهش می یابد.

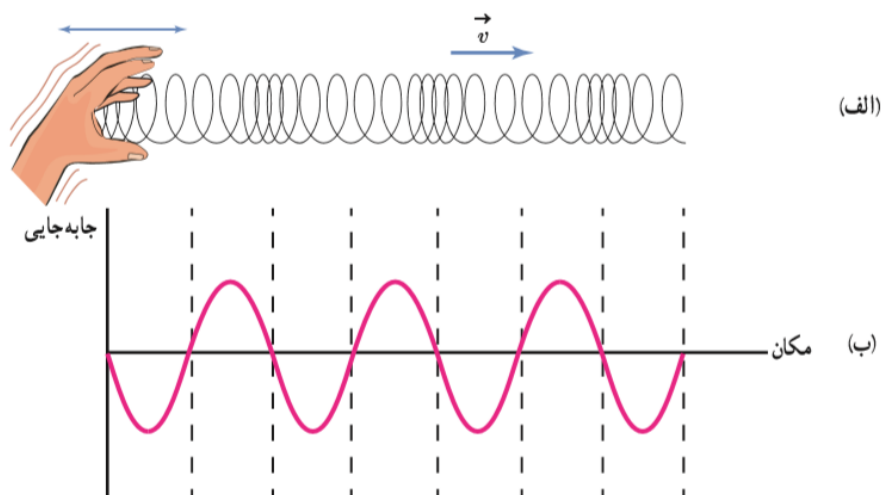
نکته! سرعت انواع امواج الکترومغناطیسی در خلا یکسان است اما در سایر محیط ها ، با یکدیگر تفاوت دارد.

دانشمندان بعدها با انجام آزمایشات دیگر متوجه شدند که امواج رادیویی نیز مانند نور ماهیت موج الکترومغناطیسی دارد.



موج طولی و مشخصه های آن:

اگر فنر را به طور طولی به نوسان در بیاوریم امواج طولی ایجاد می شوند ، نمودار جابجایی - زمان نوسان یک فنر که نوسان طولی انجام می دهد را در یک لحظه در شکل زیر مشاهده می کنید.



در اینجا مرکز کشش یا فشردگی فنر که جابجایی ندارد نقطه تعادل می باشد. و بیشترین جابجایی در میان هر کشیدگی و فشردگی متوالی می باشد که مقدار دامنه موج را نشان می دهد.

همانطور که مشاهده می کنید این امواج هم مانند امواج عرضی به صورت سینوسی بوده و تمام مشخصه ها مشابه می باشد.

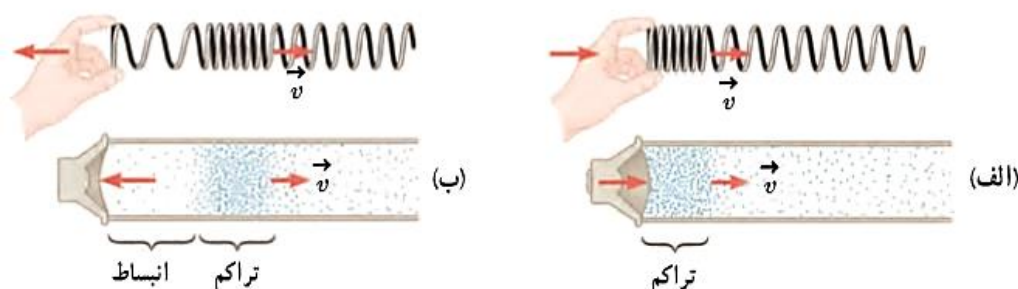
پس مفاهیم تندی انتشار ، دوره تناوب ، بسامد و مشابه امواج عرضی می باشد و از همان روابط و قوانین پیروی می کند.

موج صوتی: صوت یک موج طولی است که توسط جسمی مرتعش از قبیل سیم گیتار، تارهای صوتی حنجره انسان، دیپازون و یا پوسته های مرتعشی مانند صفحه مرتعش یک بلندگو، تولید می شود

چشمه صوت: به جسم مرتعشی که صوت ایجاد می کند چشمه صوت می گویند.

توجه! معمولاً زمانی که چشمه صوت مرتعش می شود، صوت ایجاد شده در تمام جهت ها منتشر می شود.

مقایسه امواج طولی فنر با صوت:



توجه! برای انتشار صوت، به محیط مادی نیاز داریم.

توجه باشید که هنگام انتقال امواج صوتی، مولکول های محیط حرکت نمی کنند و فقط در جای خود نوسان (حرکت رفت و برگشتی) انجام می دهند

نکته! تندی صوت در جامدات بیشتر و در مایعات کمتر از جامدات و در گازها از همه کمتر است. به طور کلی هر چه محیط انتشار تراکم ناپذیر و چگال تر باشد تندی صوت در آن محیط بیشتر خواهد بود.

توجه! تندی امواج صوتی در یک محیط مادی هم از رابطه $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ بدست می آید.

تندی صوت علاوه بر جنس محیط مادی به دمای محیط نیز بستگی دارد. هر چه دمای محیط انتشار بیشتر باشد سرعت انتشار امواج صوتی در آن محیط بیشتر می شود.

رابطه تندی صوت در هوا با دمای T (بر حسب کلوین) به صورت زیر می باشد:

$$v = (331 \text{ m/s}) \sqrt{\frac{T}{273 \text{ K}}}$$

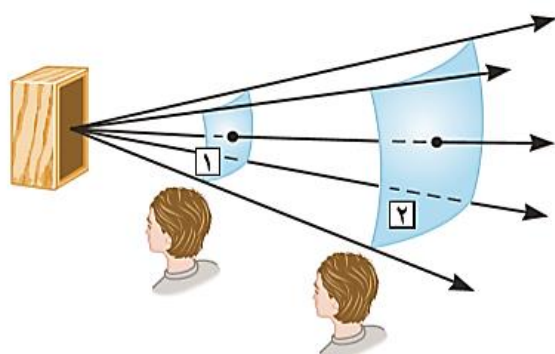
در جدول زیر می توانید سرعت صوت در محیط و دماهای متفاوت را مشاهده کنید:

جدول ۱-۳ تنبلی صوت در محیط‌های مختلف

تنبلی (m/s)	محیط
گازها*	
۳۳۱	هوا (۰°C)
۳۴۳	هوا (۲۰°C)
۹۶۵	هلیوم (۰°C)
۱۲۸۴	هیدروژن (۰°C)
مایع‌ها	
۱۱۴۳	میل الکل (۲۵°C)
۱۴۰۲	آب (۰°C)
۱۴۸۲	آب (۲۰°C)
۱۵۲۲	آب دریا (۲۰°C) و شوری (۳/۵٪)
جامدها	
۵۹۴۱	فولاد
۶۰۰۰	گرانیت
۶۲۲۰	آلومینیم

* فشار همه گازها ۱ atm است.

شدت صوت:



شدت یک موج صوتی در یک سطح، برابر با آهنگ متوسط انرژی است که توسط موج به واحد سطح عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد یا از آن عبور می‌کند.

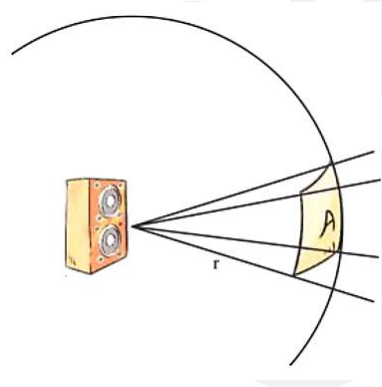
شدت صوت از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I = \frac{P_{av}}{A}$$

که در این رابطه P_{av} آهنگ متوسط انتقال انرژی (توان بر حسب وات w) و A مساحت سطحی است که صوت با آن برخورد می‌کند.

با توجه به اینکه $P_{av} = \frac{E}{t}$ (توان برابر انرژی تقسیم بر زمان) می‌توانیم برای شدت صوت بنویسیم:

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



نکته: از آنجایی که صوت در محیط به صورت کروی منتشر می‌شود و مساحت کره ای که به صورت امواج صوتی منتشر می‌شود از رابطه $4\pi r^2$ بدست می‌آید پس می‌توانیم شدت صوت را در فاصله r از چشمه صوت به صورت زیر بنویسیم:

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

و از آنجایی که $E = 2\pi^2 m A^2 f^2$ است پس برای مقایسه شدت صوت در دو حالت متفاوت داریم:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{A_2}{A_1} \times \frac{f_2}{f_1} \times \frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

در این رابطه r فاصله از چشمه صوت و A دامنه موج و f بسامد است.

توجه! شدت صوت را با نماد I نشان می‌دهیم و یکای آن وات بر متر مربع (W/m^2) می‌باشد.

برخی مواقع نسبت شدت صوت در گستره شنوایی انسان می‌تواند تا 10^{14} باشد یعنی ممکن است شدت صوت یک چشمه صوت هزاران میلیارد برابر شدت چشمه موج دیگری باشد.

برای بررسی چنین گستره‌ی وسیعی می‌توانیم از لگاریتم (در پایه ۱۰) استفاده کنیم.

پس به جای شدت صوت از مفهوم جدیدی به نام **تراز شدت صوت** (تراز صوتی) استفاده می‌کنیم که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = (10 \cdot dB) \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

در این رابطه dB مخفف **دسی بل**، یکای تراز شدت صوت است.

همچنین I_0 شدت مرجع می‌باشد (W/m^2) $(10^{-12} \times 1/0.0)$ که نزدیک به حد پایین گستره شنوایی انسان است.

توجه: یک موج صوتی با شدت $I = I_0$ تراز شدت صوتی برابر $0 \cdot dB$ دارد.

نکته: اگر تراز شدت صوت یعنی β معلوم باشد می‌توانیم شدت صوت I را به شکل زیر بدست آوریم:

$$I = I_0 \times 10^{\frac{\beta}{10}}$$

محاسبه اختلاف تراز شدت صوت: اگر شدت صوت در فاصله r_1 نسبت به چشمه صوت برابر I_1 و در فاصله r_2 نسبت به چشمه صوت برابر I_2 باشد، تغییر تراز شدت صوت در این دو فاصله برابر مقدار زیر خواهد بود:

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = (10 \cdot dB) \log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

نکته: برای حل بهتر مسائل مرتبط با شدت صوت روابط ریاضی لگاریتم را به شکل زیر به یاد داشته باشید:

$$\log 10 = 1 \quad , \quad \log 10^n = n \log 10$$

$$\log ab = \log a + \log b \quad , \quad \log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

تن موسیقی: صوت حاصل از چشمه‌های صوتی مانند دیاپازون که نوسان هایش به دلیل میرایی کم، به حرکت هماهنگ ساده نزدیک است را تن موسیقی می‌نامیم.

توجه! با شنیدن هر تن موسیقی با توجه به ادراک شنوایی مان دو ویژگی را در می‌یابیم: **۰.۱ ارتفاع ۰.۲ بلندی**

ارتفاع: بسامدی است که گوش انسان درک می کند. (به عنوان مثال اگر به چند دیاپازون با بسامد مختلف ضربه بزیم می توانیم تفاوت بسامد هر دیاپازون را متوجه بشویم و تشخیص می دهیم که کدام دیاپازون بسامد کمتر و کدام بیشتر دارد)

بلندی: شدتی است که گوش انسان از صوت درک می کند. اگر یک نوع دیاپازون با بسامد مشخص را با ضربه های متفاوت به ارتعاش وا داریم ، بسامد(ارتفاع) یکسانی خواهیم شنید ولی بلندی متفاوت خواهد بود. در نتیجه بلندی به تراز شدت صوت وابسته است.

تفاوت شدت صوت با بلندی: شدت صوت را می توان با یک آشکار ساز اندازه گرفت اما بلندی را فقط می توان احساس کرد.

توجه: گوش انسان قادر به شنیدن تن های صدای 20 Hz تا 20000 Hz است البته بیشترین حساسیت گوش در بازه 2000 Hz تا 5000 Hz می باشد.

پدیده دوپلر:

فرض کنید یک ماشین آتش نشانی کنار خودروی شما ایستاده است و آژیر آن روشن است، شما همان بسامد صوتی را خواهید شنید که از آژیر خارج می شود. اما اگر خودروی شما از ماشین آتش نشانی دور شود یا به آن نزدیک گردد ، بسامد های متفاوتی را خواهید شنید به این پدیده اثر دوپلر می گویند.

همه شما تجربه ی شنیدن صدای متفاوت یک خودرو که سریعاً از کنارتان رد شده است را داشته اید.

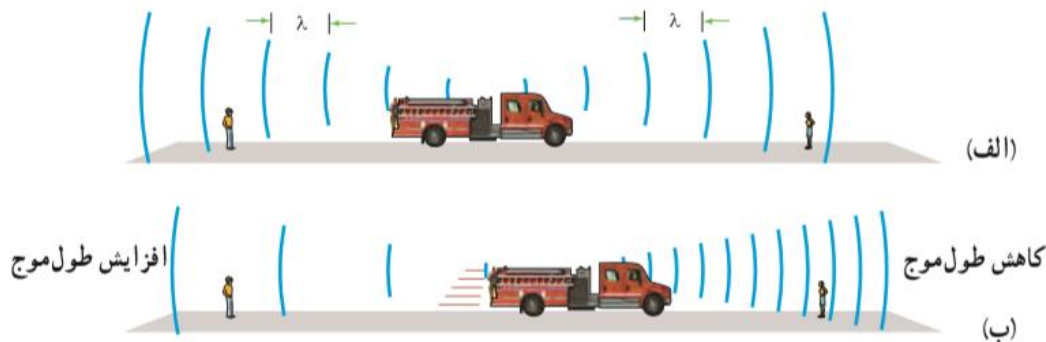
توجه! پدیده دوپلر نه تنها در امواج صوتی بلکه در امواج الکترومغناطیسی نیز قابل مشاهده است.

در اینجا نخست امواج صوتی را بررسی می کنیم. در دو حالت می توانیم پدیده دوپلر را در امواج صوتی مشاهده کنیم : یک اینکه چشمه صوت در حال دور شدن یا نزدیک شدن به شنونده باشد و دوم اینکه شنونده متحرک بوده و چشمه صوت ساکن باشد.

الف: حالت اول: چشمه متحرک و ناظر (شنونده) ساکن:

همانطور که در شکل مشاهده می کنید اگر چشمه صوت متحرک نباشد ، جبهه های موج فواصل یکسانی خواهند داشت در حالی که اگر چشمه به ناظر (شنونده) نزدیک یا دور شود قضیه متفاوت خواهد بود.

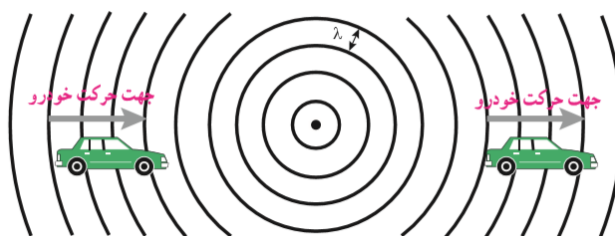
هنگام نزدیک شدن به ناظر فواصل جبهه های موج کمتر شده و طول موج صوت کوتاه تر و در نتیجه بسامد بیشتر می شود. در حالی که اگر چشمه از ناظر دور شود فواصل جبهه موج بیشتر شده در نتیجه طول موج افزایش یافته و بسامد صوت کاهش می یابد.



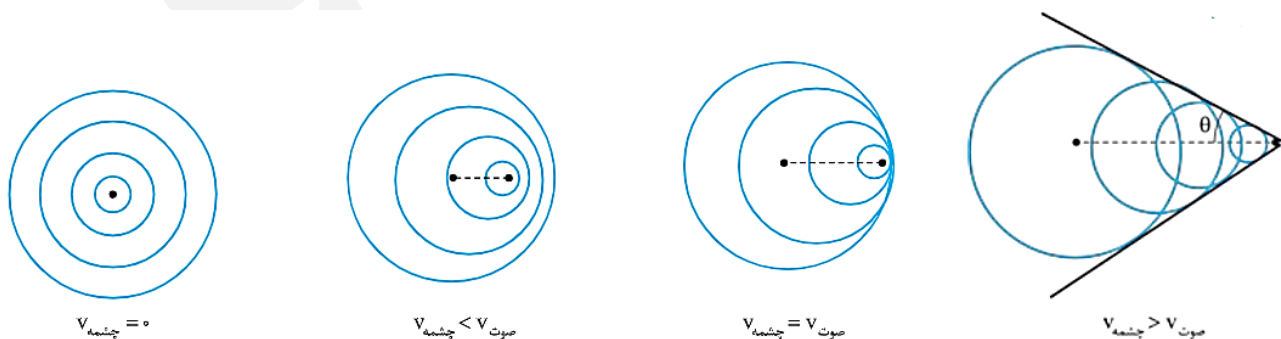
حالت دوم: چشمه ساکن و ناظر (شونده) متحرک:

در این حالت اگر ناظر به طرف چشمه حرکت کند (نزدیک شود) با جبهه های موج بیشتر نسبت به ناظر ساکن مواجه می شود در نتیجه بسامد صوتی افزایش پیدا می کند (طول موج دریافتی کاهش پیدا می کند).

اگر ناظر از چشمه دور شود، در مقایسه با ناظر ساکن، با جبهه های موج کمتری مواجه می شود در نتیجه طول موج افزایش و بسامد کم می شود.



نکته! با توجه به سرعت حرکت چشمه صوت، ممکن است هر یک از حالت های زیر اتفاق بیافتد:

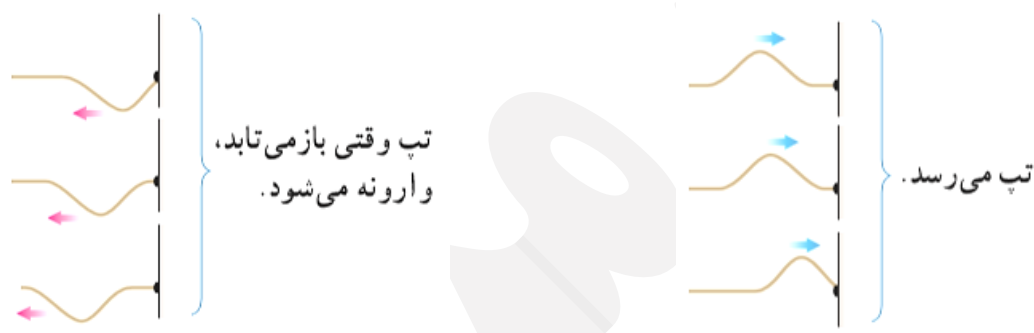


بازتاب موج:

تولید صدا در آلات موسیقی ، پژواک صداها، دیدن ماه، گرم شدن غذا در اجاق های خوشیدی ، جمع شدن امواج رادیویی در کانون آنتن های بشقابی ، یافتن مسیر پیش رو توسط خفاش بدون دیدن ، مثال هایی از کاربرد بازتاب امواج می باشد.

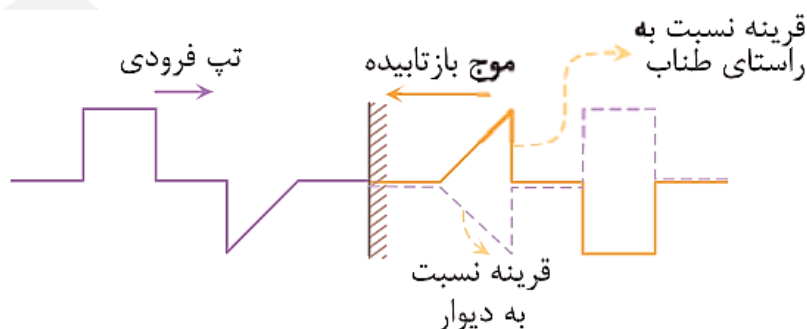
توجه! امواج الکترومغناطیسی و مکانیکی هر دو بازتاب می شوند.

بازتاب امواج مکانیکی: اگر تپی را در یک فنر (یا ریسمان) کشیده بلند که یک سر آن بر تکیه گاهی ثابت شده است روانه کنیم، هنگام رسیدن تپ به تکیه گاه (مرز) ، نیرویی از طرف تپ به تکیه گاه وارد می شود و تکیه گاه هم طبق قانون نیوتون نیرویی با اندازه برابر و در خلاف جهت به فنر وارد می کند. در این صورت در محل تکیه گاه تپی در فنر ایجاد می شود که روی فنر در جهت مخالف تپ تابیده شده حرکت می کند.



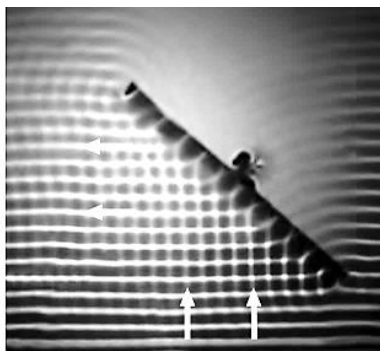
توجه! به این نوع بازتاب ، بازتاب یک بعدی می گویند.

نکته: نحوه رسم تپ بازتابیده: تپ بازتابیده از انتهای بسته به شکل وارونه به ریسمان باز می گردد. برای رسم تپ بازتابیده، کافی است ابتدا قرینه تپ فرودی را نسبت به محور عمودی (دیوار) و سپس قرینه آن نسبت به محور افقی (راستای طناب) را رسم کنیم.



بازتاب در دو بعد: اگر برای امواج سطحی آب مانع تختی قرار دهیم ، بازتاب موجی که ایجاد می شود، بازتاب در دو

بعد نامیده می شود، شکل زیر:



می توانیم برای بررسی بیشتر از نمودار پرتویی استفاده کنیم (شکل زیر):
در این نمودار جهت انتشار امواج به صورت پیکان نمایش داده می شود.

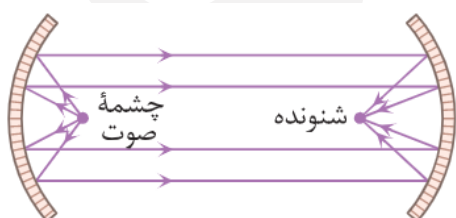


پرتو موج (پرتو): یک پرتو موج، پیکان (فلش) مستقیمی عمود بر جبهه های موج است که جهت انتشار جبهه های موج را نشان می دهد.

زاویه تابش (θ_i): زاویه بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی) را زاویه تابش می نامند و با θ_i نشان می دهند.

زاویه بازتابش (θ_r): زاویه بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده را زاویه بازتابش می نامند و با θ_r نشان می دهند.

قانون بازتاب عمومی: زاویه تابش همواره برابر با زاویه بازتاب می باشد. $\theta_i = \theta_r$



بازتاب در سه بعد: بازتاب امواج صوتی، نمونه دیگری از بازتاب امواج مکانیکی است، صوت می تواند از سطح سخت مانند دیوار بازتابش کند که مثالی از بازتاب امواج در سه بعد است.

توجه! بازتاب در سه بعد نیز از قانون عمومی بازتاب پیروی می کند.

پژواک (Echo): اگر صوت پس از بازتاب ، با یک تاخیر زمانی به گوش شنونده ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می شنود ، به چنین بازتابی ، پژواک می گویند.

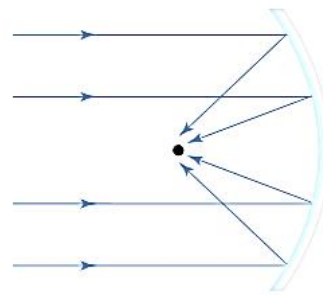
توجه! اگر زمان رسیدن بازتاب صوت کمتر از یک دهم ثانیه باشد $0.1s$. آنگاه گوش شما توانایی این را نخواهد داشت که صوت اصلی را با پژواک تمیز دهد.

بازتاب امواج الکترومغناطیسی:

امواج الکترومغناطیسی نیز می توانند از یک سطح ، بازتابیده شوند و بازتاب آن ها از همان قانون بازتاب عمومی پیروی می کند.

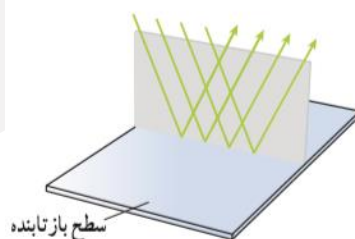
توجه! اگر امواج الکترومغناطیسی تخت به یک سطح کاو (فرو رفته) تابیده شوند ، پس از بازتابش در یک نقطه جمع (یا کانونی) می شوند.

از این ساز و کار برای دریافت امواج رادیویی توسط آنتن های بشقابی و یا امواج فرسرخ برای گرم کردن آب یا مواد غذایی در اجاق های خورشیدی استفاده می شود.

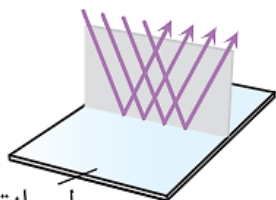


توجه!

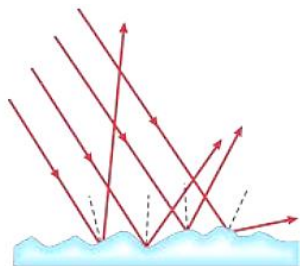
نور مرئی بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است بنابراین نور مرئی نیز از همان قانون بازتاب عمومی امواج پیروی می کند. یعنی زاویه تابش و بازتابش در هر بازتابشی با هم برابرند.



انواع بازتاب:



الف: بازتاب منظم: اگر سطح بازتابنده ی نور همچون یک آینه ، بسیار هموار باشد، بازتاب نور را بازتاب آینه ای یا منظم می گویند.



ب: بازتاب نامنظم: این نوع بازتاب وقتی رخ می دهد که نور به سطحی برخورد کند که صیقلی و هموار نباشد ، در این صورت پرتوهای نور به طور کاتوره ای بازتابیده و در تمام جهات پراکنده می شوند. مانند بازتاب از سطح کاغذ ، دیوار و ...

توجه! در بازتاب آینه ای از یک آینه تخت ، بازتابش یک دسته پرتوی موازی را فقط در یک جهت می توانید ببینید. اما در بازتاب نامنظم یا پخشنده ، بازتابش این دسته پرتو را می توانید در جهت های مختلف مشاهده کنید.

توجه! منظور از سطح ناهموار این است که اندازه ناهمواری های سطح بزرگتر از طول موج تابیده شده باشد و اگر این ناهمواری ها از طول موج تابیده شده کمتر باشد در آن صورت سطح هموار است.

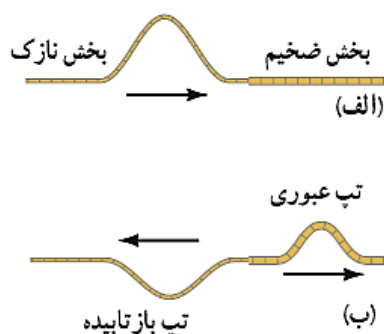
مثال: طول موج نور مرئی در حدود $0.5\mu m$ است، اندازه سطح ناهمواری های کاغذ در حدود $1\mu m$ می باشد که برای نور مرئی یک سطح ناهموار است همچنین اندازه ناهمواری های سطح فلزی صیقل داده شده بسیار کوچکتر از $1\mu m$ است پس سطح فلز برای نور مرئی یک سطح هموار می باشد.

شکست موج:

در حالت یک بعدی:

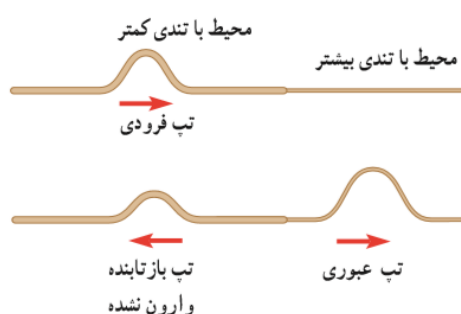
وقتی موج به مرز جدایی دو محیط می رسد بخشی از آن بازتابیده می شود و بخشی دیگر عبور می کند (که این افزون بر جذب موج است که در هر دو محیط رخ می دهد)

مثال: اگر طنابی داشته باشیم که از دو بخش نازک و ضخیم تشکیل یافته ، وقتی تپ موج از سمت نازک به مرز دو بخش برسد ، بخشی از این تپ عبور کرده و بخشی بازتاب می کند. بسامد این دو موج همان بسامد موج فرودی است که توسط چشمه موج تعیین می شود. سرعت انتشار در طناب ضخیم کمتر است در نتیجه با توجه به رابطه $\lambda = \frac{v}{f}$ طول موج عبوری و بازتابیده طول موج کمتری نسبت به موج فرودی خواهد داشت.



📌 **تذکر:** طبق رابطه $\lambda = \frac{v}{f}$ ، $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1}$ است و موج عبوری که

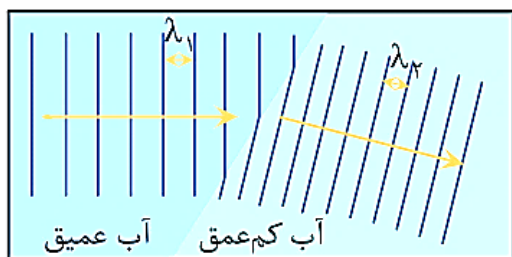
تندی آن در قسمت ضخیم کمتر است، طول موج کمتری نسبت به موج فرودی خواهد داشت (دهانه تپ عبوری جمع تر است).



در حالت دو و سه بعدی:

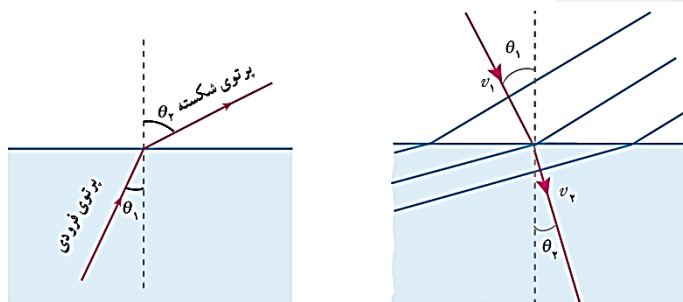
در حالت های دو یا سه بعدی با عبور موج از یک مرز و ورود آن به محیط دیگر، تندی موج تغییر می کند و ممکن است جهت انتشار موج نیز تغییر کند و اصطلاحاً موج شکست پیدا می کند.

مثال: در آب هنگام ورود موج از آب عمیق به آب کم عمق، سرعت و طول موج کاهش پیدا می کند و جهت انتشار نیز تغییر می یابد، شکل زیر:



قانون شکست عمومی:

اگر جبهه های موج به طور مایل به مرز دو محیط برسند هنگام عبور از مرز میان دو محیط شکست پیدا می کنند در نتیجه پرتو های موج که عمود بر این جبهه ها هستند هم در عبور از این مرز تغییر جهت می دهند.



که در این صورت رابطه زیر برقرار خواهد بود:

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

در این رابطه θ_1 یا θ_i زاویه بین پرتوی فرودی و خط عمود بر مرز می باشد که زاویه تابش می نامند و θ_2 یا θ_r زاویه بین پرتوی شکسته با خط عمود بر مرز می باشد که زاویه شکست نام دارد. همچنین v_1 تندی انتشار موج فرودی و v_2 تندی انتشار موج شکست یافته می باشد.

تذکر: با شکسته شدن موج، بسامد موج تغییری نمی کند، اما طول موج و تندی آن تغییر می کند.

نکته: اگر موج از محیطی با تندی کمتر به محیطی با تندی بیشتر برود زاویه شکست بیشتر از زاویه تابش می شود و برعکس اگر موج از محیطی با تندی بیشتر به محیطی با تندی کمتر برود زاویه شکست نسبت به زاویه تابش کمتر می شود.

شکست امواج الکترومغناطیسی:

امواج الکترومغناطیسی (و از جمله نور مرئی) نیز با گذر از یک محیط به محیطی دیگر که در آن تندی متفاوت می شود، شکست پیدا می کند.

وقتی پرتوی نوری از محیطی شفاف وارد محیط شفاف دیگری شود، بخشی از نور بازتاب شده و بخشی دیگر وارد محیط دوم می شود. همانطور که میدانیم به دلیل آنکه در محیط دوم تندی انتشار تغییر می کند، نور نیز شکسته می شود. برای هر محیط ضریب شکست تعریف می کنند.

ضریب شکست:

ضریب شکست یک محیط شفاف برابر با نسبت تندی نور در خلا به تندی نور در آن محیط است:

$$n = \frac{\text{تندی نور در خلا}}{\text{تندی نور در یک محیط}} = \frac{c}{v} \rightarrow (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

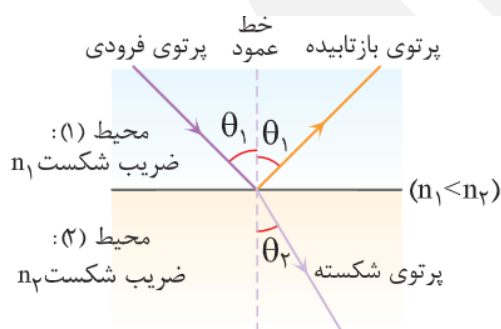
توجه! تندی نور در خلا را تقریباً $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ در نظر می گیریم.

توجه! ضریب شکست یک عدد بدون واحد است و ضریب شکست خلا و هوا یک می باشد.

توجه! هر چه ضریب شکست یک محیط بیشتر باشد، تندی نور در آن محیط کمتر می شود.

از آنجا که تندی نور در خلا بیشترین مقدار ممکن است و تندی در سایر محیط های شفاف کمتر از این مقدار

هستند، پس ضریب شکست هر محیطی همواره بزرگتر مساوی ۱ خواهد بود.



قانون شکست اسنل: با توجه به قانون شکست عمومی و ضریب شکست، می توانیم رابطه بین زاویه تابش و شکست با ضریب شکست را به صورت زیر بدست آوریم:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

نکته: اگر پرتو از محیط با ضریب شکست کمتر به محیط با ضریب

شکست بیشتر وارد شود پرتو به خط عمود نزدیک تر می شود. و برعکس اگر پرتو از محیط با ضریب شکست بیشتر به محیط با ضریب کمتر وارد شود پرتو از خط عمود دور می شود.

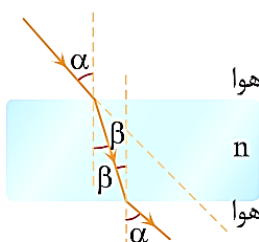
در جدول زیر ضریب شکست برخی از محیط ها را مشاهده می کنید:

ضریب شکست	محیط
۱	خلاء
۱/۰۰۰۲۹	هوا (ترباط معاريف)
۱/۳۱	پنج
۱/۳۳	آب (۲۰°C)
۱/۳۶	استون
۱/۳۶	اتانول
۱/۳۸	محلول آب قند (۲۰°C)
۱/۳۹	محلول آب قند (۸۰°C)
۱/۵۰	تیزن
۱/۵۱	پلاستيک پاكسي كلاس
۱/۵۲	شيشه خالص
۱/۵۴	سدیم كلريد (دك خوراكی)
۱/۵۴	كوارتز (SiO ₂)
۱/۴۲	الماس

* برای طول موج ۵۸۹nm (نور زرد سدیم)

نکته: ترکیب کلی مطالبی که خوانده ایم:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$



نکته: تیغه متوازی السطوح: مطابق

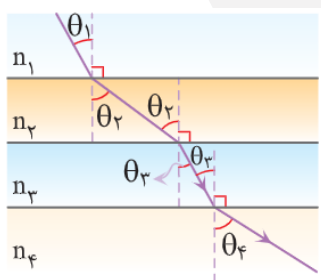
شکل پرتو نوری از هوا وارد یک تیغه شیشه‌ای شده است و سپس از آن خارج شده است. مشاهده می‌کنیم که:

- پرتو نور در داخل شیشه به خط عمود نزدیک‌تر است.

۲ پرتو ورودی به تیغه با پرتو خروجی از آن موازی است (انحراف صفر است)

عبور نور از محیط‌های متوالی موازی: شکل زیر مسیر عبور پرتو نور از چند محیط شفاف متوالی با سطوح موازی را

نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه شکست اسنل داریم:



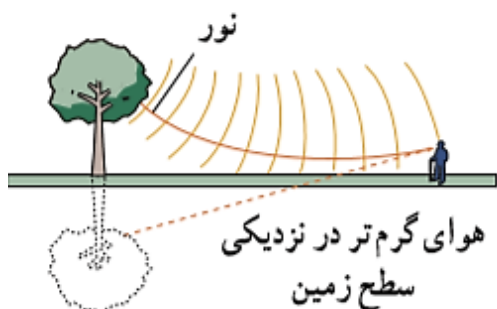
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 = n_4 \sin \theta_4$$



پدیده ی سراب: در روز های گرم تابستان ممکن است چندین متر دور تر برکه ی آبی را ببینید اما با رسیدن به آن نقطه خبری از برکه ی آب نباشد. به این پدیده ، سراب یا سراب آبیگر می گویند.

علت دیدن سراب:

در روز های گرم سطح زمین نسبتا داغ است ، گرمی سطح زمین باعث کاهش چگالی می شود. با کاهش چگالی هوا در سطح زمین تندی انتشار نور افزایش می یابد و همچنین ضریب شکست نور نیز کاهش می یابد.



با توجه به اینکه جبهه های موج هر چه از ارتفاع بالا به سمت پایین بیایند با محیطی با ضریب شکست کمتر مواجه می شوند پس پرتوهای نور مانند شکل زیر از خط عمود دور تر می شوند . تا جهت اینکه پرتو نور متمایل به افق می گردد و سپس به سمت بالا شکسته می شود.

خم شدن جبهه های موج به سمت بالا را اینگونه می توانیم در نظر بگیریم ، همانطور که در تصویر مشاهده می کنید قسمتی از جبهه موج که در سمت

پایینی قرار دارد به دلیل دمای بیشتر و چگالی کمتر دارای سرعت انتشار بیشتری نسبت به قسمت بالا است. پس این تفاوت سرعت در دو طرف جبهه موج سبب خم شدن آن به سمت بالا می شود.

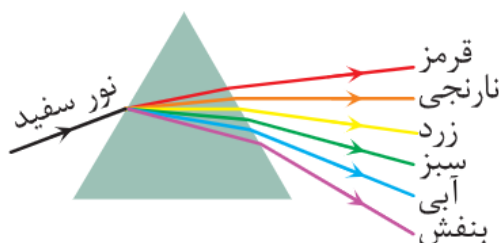


هر چه این جبهه های موج به سمت بالا حرکت کنند بیشتر به سمت بالا شکسته می شوند و اگر تعدادی از این موج های نور به چشم ما برسند ، احساس خواهیم کرد منشا این نور از سطح زمین است . در حقیقت تصویر چیزی که در بالای سطح زمین وجود دارد را روی زمین خواهیم دید و احساس خواهیم کرد در سطح زمین آب وجود دارد.

پاشندگی نور:

اگر باریکه نوری شامل پرتوهایی با طول موج های از یک محیط وارد محیط دیگری با ضریب شکست متفاوت شود ، هر پرتوی نور با زاویه متفاوتی شکسته می شود که به این پدیده پاشندگی نور می گویند.

مانند عبور نور سفید از داخل منشور :

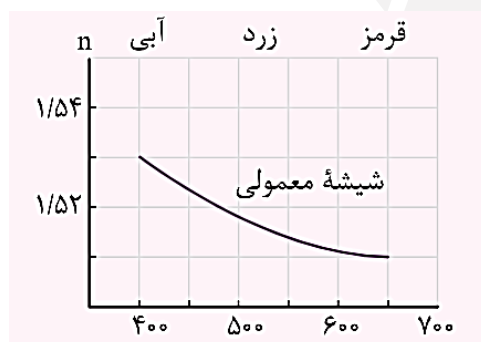


توجه! شکست پرتوهای نور علاوه بر ضریب شکست محیط به طول موج پرتوهای نور هم بستگی دارد ، به همین دلیل است که هر پرتو با طول متفاوت زاویه شکست مختلفی دارد.

هرچه طول موج کمتر (و در نتیجه بسامد بیشتر) باشد ، میزان شکست پرتو بیشتر خواهد بود.

همانطور که در شکل مشاهده کردید، نور قرمز که طول موج بیشتری دارد زاویه شکست کمتر و نور بنفش که طول موج کمتری دارد زاویه شکست بیشتری را تجربه می کند.

تغییرات ضریب شکست در طیف مرئی نور بر حسب طول موج برای شیشه معمولی:



سوالات امتحانی فصل سوم :

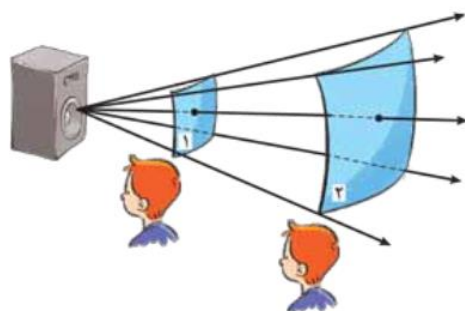
جملات درست و نادرست را مشخص کنید:

- ۱- در یک نوسان دوره‌ای، به مدت زمان یک چرخه، بسامد گفته می‌شود.
- ۲- فاصله جسم از نقطه تعادل، دامنه حرکت نام دارد.
- ۳- دامنه حرکت، فاصله دو انتهای مسیر حرکت نوسانگر است.
- ۴- وقتی نوسانگر در $x = \pm A$ است، اندازه سرعت آن بیشینه است.
- ۵- در یک حرکت هماهنگ ساده با دوره تناوب T ، اگر مکان در لحظه دلخواه t را با $x(t)$ نشان دهیم، $x(T)$ برابر $x(t)$ خواهد بود.
- ۶- رابطه $E = 2\pi^2 m A^2 f^2$ را می‌توان برای انرژی مکانیکی هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای به کار برد.
- ۷- انرژی پتانسیل سامانه جرم - فنر در نقاط بازگشتی، صفر است.
- ۸- وقتی یک نوسانگر هماهنگ ساده از نقطه تعادل می‌گذرد، انرژی جنبشی آن برابر با انرژی مکانیکی می‌شود.
- ۹- انرژی مکانیکی سامانه جرم - فنری که روی یک سطح بدون اصطکاک نوسان می‌کند، در نقاط بازگشتی، بیشتر از انرژی مکانیکی در نقطه تعادل است.
- ۱۰- انرژی مکانیکی هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای با جذر دامنه و جذر بسامد نوسان، متناسب است.
- ۱۱- هر چه جرم وزنه آونگ ساده‌ای بیشتر باشد، نوسان‌های آن کندتر صورت می‌گیرد.
- ۱۲- تاب خوردن کودکی که به طور دوره‌ای هل داده می‌شود، مثالی از یک نوسان واداشته است.
- ۱۳- هنگام تاب خوردن یک کودک، اگر به طور دوره‌ای او را هل بدهیم و بسامد نوسان واداشته با بسامد طبیعی تاب برابر باشد، نوسان‌های تاب میرا می‌شود.
- ۱۴- وقتی چشمه موج به طور هماهنگ ساده نوسان می‌کند، اجزای محیط با بسامدی برابر بسامد چشمه، حول نقطه تعادل خود نوسان می‌کنند.
- ۱۵- اگر در انتشار یک موج، ماده‌ای که موج در آن حرکت می‌کند به همراه موج از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت کند، موج را پیش‌رونده می‌نامیم.
- ۱۶- در یک موج عرضی، راستای نوسان اجزای محیط عمود بر راستای انتشار موج است.
- ۱۷- تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی ندارد.
- ۱۸- در یک تشت موج، اگر یک گوی کوچک بر سطح آب نوسان کند، یک موج تخت بر سطح آب پدید می‌آید.
- ۱۹- در یک تشت موج، فاصله یک ذره از مکان تعادل در هر لحظه، دامنه موج نامیده می‌شود.
- ۲۰- هر موج پیش‌رونده‌ای، حامل انرژی است.
- ۲۱- با انتشار موج، انرژی فقط به صورت انرژی پتانسیل لازم برای حرکت و کشیدگی اجزای محیط، انتقال می‌یابد.
- ۲۲- بنا بر قانون القای فاراده، میدان الکتریکی متغیر می‌تواند میدان مغناطیسی ایجاد کند.
- ۲۳- میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در یک موج الکترومغناطیسی، همواره بر جهت انتشار موج عمودند.
- ۲۴- در یک موج الکترومغناطیسی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی یکسان دارند و همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند.
- ۲۵- تندی انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلأ با تندی نور برابر نیست.
- ۲۶- امواج الکترومغناطیسی، انرژی را به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل ذرات محیط منتقل می‌کنند.
- ۲۷- در طیف امواج الکترومغناطیسی، گسستگی‌هایی وجود دارد.
- ۲۸- برای موج طولی در یک فنر در یک لحظه از زمان، در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی حلقه‌ها رخ می‌دهد، جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل، بیشینه است.
- ۲۹- وقتی بر اثر یک زمین‌لرزه، امواج P و S پدید می‌آیند، تندی انتشار امواج S بیشتر از تندی انتشار امواج P است.
- ۳۰- موج صوتی، یک موج مکانیکی است که به صورت عرضی منتشر می‌شود.
- ۳۱- در انتشار صوت، ذره‌های هوا منتقل نمی‌شوند و حول نقطه تعادل خود نوسان می‌کنند.
- ۳۲- تندی صوت در هوا به بسامد صوت بستگی دارد.
- ۳۳- تندی صوت در یک محیط فقط به جنس محیط بستگی دارد.

(ریاضی فردا ۹۷)

(تهرانی شوریور ۹۳)

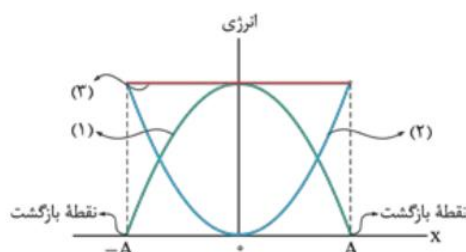
(تهرانی شوریور ۹۳)



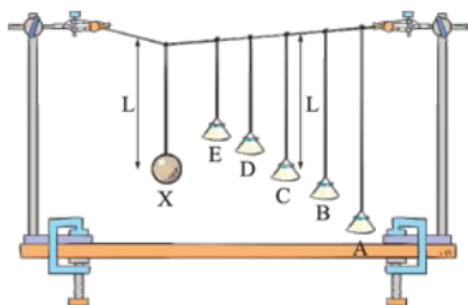
- ۳۳- تندی صوت در یک محیط فقط به جنس محیط بستگی دارد.
- ۳۴- تندی صوت در یک محیط جامد، کم‌تر از تندی آن در یک گاز است.
- ۳۵- در شکل روبه‌رو با انتشار صوت از چشمه، انرژی به طور عمود، نخست از سطح (۱) و سپس از سطح ۲ می‌گذرد. آهنگ متوسط انرژی‌ای که از سطح ۱ می‌گذرد، بیشتر از آهنگ متوسط انرژی‌ای است که از سطح (۲) می‌گذرد.
- ۳۶- اگر شدت صوتی با شدت مرجع برابر باشد، تراز آن صوت برابر ۱ dB است.
- ۳۷- گوش انسان تنها قادر به شنیدن تَن‌های صدای ۲۰۰۰ Hz تا ۵۰۰۰ Hz است.
- ۳۸- بلندی یک تَن موسیقی، بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند.
- ۳۹- وقتی یک چشمه صوت ساکن است، ناظری که از چشمه دور می‌شود، طول موج بیشتری را نسبت به یک ناظر ساکن اندازه می‌گیرد.
- ۴۰- خفایش برای یافتن طعمه خود از بازتاب امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌کند.
- ۴۱- بازتاب صوت از دیوارهای یک اتاق، نمونه‌ای از بازتاب در دو بُعد است.
- ۴۲- اگر زاویه شکست یک موج از زاویه تابش بیشتر باشد، تندی موج عبوری از تندی موج تابیده کم‌تر است.
- ۴۳- ضریب شکست می‌تواند کوچک‌تر از ۱ باشد.
- ۴۴- دلیل پدیده سراب این است که در روزهای گرم، ضریب شکست هوای نزدیک سطح زمین کم‌تر از هوای بالاتر است.
- ۴۵- اگر باریکه نور سفیدی از هوا بر یک سطح شیشه‌ای فرود آید، پاشندگی نور رخ نمی‌دهد.

پر کردن جاهای خالی:

- ۴۶- به نوسان‌هایی که هر چرخه آن‌ها، در دوره‌های دیگر تکرار می‌شود، می‌گوییم.
- ۴۷- مدت زمان یک چرخه، نامیده می‌شود.
- ۴۸- تعداد چرخه‌ها در هر ثانیه، نامیده می‌شود.
- ۴۹- منظور از دامنه حرکت یک نوسانگر، فاصله آن از نقطه تعادل است.
- ۵۰- وقتی نوسانگر در $x = \pm A$ است، سرعت آن، است و به این نقطه‌ها، گفته می‌شود.
- ۵۱- وقتی نوسانگر از نقطه تعادل می‌گذرد، اندازه سرعت آن، است.
- ۵۲- دیاپازونی با یک تیغه نوک تیز را به نوسان وامی‌داریم و در حالی که نوک تیز آن با سطح یک شیشه دوداندود تماس دارد، آن را به سرعت به موازات شیشه حرکت می‌دهیم. این وسیله ساده، اساس کار یک را نشان می‌دهد و به خط موج‌داری که بر سطح شیشه رسم می‌شود، می‌گویند.
- ۵۳- در یک سامانه جرم - فنر، با یک جرم ثابت، هر چه فنر سخت‌تر باشد، نوسان صورت می‌گیرد؛ یعنی دوره تناوب نوسان، می‌شود. نسبت وارون دارد.
- ۵۴- در یک سامانه جرم - فنر، با یک فنر معین، هر چه جرم بیشتر باشد، نوسان صورت می‌گیرد؛ یعنی دوره تناوب نوسان، می‌شود. دوره تناوب سامانه جرم - فنر، با نسبت مستقیم دارد.
- ۵۵- در نمودار روبه‌رو که برای یک نوسانگر هماهنگ ساده رسم شده است، نمودار (۱) مربوط به نمودار (۲) مربوط به و نمودار (۳)، مربوط به است.



- ۵۶- در یک حرکت هماهنگ ساده، با افزایش جابه‌جایی از نقطه تعادل، انرژی پتانسیل می‌یابد: انرژی جنبشی می‌یابد و انرژی مکانیکی
 ۵۷- انرژی مکانیکی هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای با و متناسب است.
 ۵۸- دوره تناوب آونگ ساده با نسبت مستقیم و با نسبت وارون (عکس) دارد.
 ۵۹- اگر با اعمال یک نیروی خارجی به یک نوسانگر، آن را با بسامدی دلخواه به نوسان درآوریم، چنین نوسانی را می‌نامیم.
 ۶۰- اگر بسامد طبیعی یک نوسانگر را با f_0 و بسامد نوسان واداشته آن را با f_d نشان دهیم، در صورتی که $f_0 = f_d$ شود، می‌گوییم برای نوسانگر، رخ داده است.



- ۶۱- شکل روبه‌رو، آونگ‌های بارتون را نشان می‌دهد. در این شکل، آونگ X را آونگ می‌نامیم و اگر این آونگ را عمود بر صفحه شکل به نوسان درآوریم، بر اثر تاب خوردن نخ آویز، سایر آونگ‌ها به نوسان واداشته می‌شوند و برای آونگ، تشدید رخ می‌دهد.
 ۶۲- نوسان یک تاب، بدون آن‌که در ادامه حرکت هل داده شود، بر اثر اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک و مقاومت هوا، و متوقف خواهد شد.
 ۶۳- موج‌هایی که برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند، موج‌های نام دارند و به عنوان نمونه، می‌توان به و اشاره کرد.
 ۶۴- هرگاه در ناحیه‌ای از یک محیط کشسان، ارتعاشی به وجود آید، موجب پدید آمدن ارتعاش‌های پی‌درپی دیگری می‌شود که از محل شروع ارتعاش، دور و دورتر می‌شوند و به این ترتیب، به وجود می‌آید.
 ۶۵- اگر هنگامی که موجی در طول یک فنر انتشار می‌یابد، راستای نوسان هر جزء فنر عمود بر راستای انتشار موج باشد، موج را می‌نامیم.
 ۶۶- اگر هنگامی که موجی در یک فنر بلند انتشار می‌یابد، راستای نوسان هر جزء فنر موازی راستای انتشار موج باشد، موج را می‌نامیم.
 ۶۷- به موج‌های عرضی و طولی، به این دلیل که از نقطه‌ای به نقطه دیگر حرکت می‌کنند، موج‌های گفته می‌شود.
 ۶۸- در موج پدیدآمده بر سطح آب یک تشت موج، اگر برآمدگی‌ها یا فرورفتگی‌هایی که در یک فاصله از چشمه موج‌اند را به هم وصل کنیم، به شکل حاصل می‌گوییم.

- ۶۹- در موج پدیدآمده بر سطح آب یک تشت موج، فاصله دو قله یا دو دره مجاور، نام دارد که برابر مسافتی است که موج در مدت می‌پیماید.
 ۷۰- هنگامی که موجی در یک تشت موج انتشار می‌یابد، یک ذره از مکان تعادل که همان فاصله قله یا دره نسبت به سطح آرام آب است را می‌نامیم.
 ۷۱- در یک موج، به مدت زمانی که هر ذره محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد، می‌گوییم که برابر با چشمه موج است.
 ۷۲- در یک موج، به تعداد نوسان‌های انجام شده توسط هر ذره محیط در یک ثانیه، می‌گوییم که برابر با بسامد نیز هست.
 ۷۳- اگر جبهه موج در مدت Δt مسافت l را طی کند، به $\frac{l}{\Delta t}$ ، می‌گوییم که به بستگی دارد.
 ۷۴- تندی انتشار موج عرضی در یک فنر یا ریسمان کشیده، به و بستگی دارد.
 ۷۵- مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی در یک موج سینوسی با و متناسب است.

- ۷۶- آن چه سبب انتشار موج الکترومغناطیسی می‌شود، رابطه متقابل میدان‌ها است؛ یعنی طبق قانون القای فاراده، هر تغییری در میدان سبب ایجاد میدان می‌شود و بنا بر پیش‌بینی ماکسول، هر تغییری در میدان سبب ایجاد میدان می‌شود.
 ۷۷- به و که بر یکدیگر عمودند و در راستای عمود بر هر دو می‌یابند، موج الکترومغناطیسی گفته می‌شود.
 ۷۸- اگر در یک موج الکترومغناطیسی، چهار انگشت دست راست را در هر نقطه در جهت نگه داریم به گونه‌ای که از کف دست خارج شده باشد، انگشت شست جهت را نشان می‌دهد.

۷۹- اگر ضریب گذردهی الکتریکی خلأ را با ϵ_0 و تراوایی مغناطیسی خلأ را با μ_0 نشان دهیم، $\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ بیانگر است.

- ۸۰- انرژی‌ای که امواج الکترومغناطیسی انتقال می‌دهند، به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل ذرات محیط نیست؛ بلکه به صورت انرژی و است.
 ۸۱- طیف امواج الکترومغناطیسی، شامل امواج رادیویی،، فرسرخ، نور مرئی،، پرتوهای X و است.
 ۸۲- در یک موج الکترومغناطیسی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، هر دو بر عمودند و به همین دلیل، موج الکترومغناطیسی است.
 ۸۳- در امواج طولی، فاصله دو تراکم متوالی یا دو انبساط متوالی برابر است.
 ۸۴- صوت یک موج است که توسط جسمی مرتعش مانند سیم گیتار یا دیافراگم یک بلندگو تولید می‌شود.

۸۵- وقتی چشمه صوت، یک بلندگو است، حرکت رو به بیرون دیافراگم آن سبب پیدایش در هوای جلوی بلندگو می‌شود که با تندی صوت از بلندگو دور می‌شود. وقتی هم که دیافراگم به سمت داخل می‌رود، در هوای جلوی آن به وجود می‌آید که آن نیز با تندی صوت از بلندگو دور می‌شود.

۸۶- عموماً صوت در جامدها، از مایع‌ها و در مایع‌ها، از گازها انتشار می‌یابد.

۸۷- تندی صوت در مواد، افزون بر جنس محیط به نیز بستگی دارد.

۸۸- شدت یک موج صوتی در یک سطح، برابر با است که توسط موج به واحد سطح عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد.

۸۹- یک موج صوتی با شدت $I_1 = I_2$ ، تراز شدت صوتی برابر دسی‌بل دارد. (I_0 شدت مرجع است).

۹۰- اگر چشمه صوتی با حرکت هماهنگ ساده نوسان کند، صوت حاصل از آن را می‌نامیم.

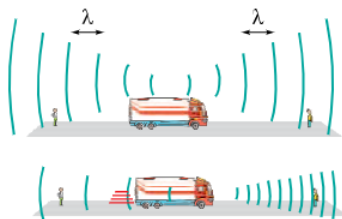
۹۱- با شنیدن هر تَن موسیقی، دو ویژگی به نام‌های و را می‌توان از هم متمایز ساخت که هر دو به ادراک شنوایی ما بستگی دارند.

۹۲- بسامدی که گوش ما درک می‌کند، نام دارد.

۹۳- شدتی که گوش انسان از یک صوت درک می‌کند، نام دارد.

۹۴- شکل‌های مقابل نشان می‌دهند که وقتی یک چشمه صوت ساکن است، طول موج صوت در جلوی چشمه، طول موج در پشت آن است؛ اما وقتی چشمه صوت به حرکت درمی‌آید، طول موجی که ناظر جلوی چشمه اندازه می‌گیرد، می‌یابد و طول موجی که ناظر پشت چشمه اندازه می‌گیرد، می‌یابد.

۹۵- اگر بر سر راه امواج تختی که بر سطح یک تشت موج پدید آمده است، مانعی غیرموازی با جبهه‌های موج قرار دهیم، بازتابی در خواهیم داشت.



۹۶- هنگامی که جبهه‌های موج از روی مانعی باز می‌تابند، بنا بر قانون زاویه بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی تابیده که زاویه نام دارد، زاویه بین خط عمود بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده که زاویه نام دارد، همواره برابر است.

۹۷- اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده‌ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی می‌گویند.

۹۸- روشی که براساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین می‌کنند، نام دارد و اگر این روش به همراه به کار رود، با استفاده از تغییر بسامدی که رخ می‌دهد، می‌توان تندی جسم را نیز تعیین کرد.

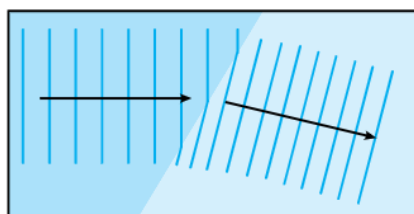
۹۹- امواج الکترومغناطیسی تخت تابیده به یک سطح کاو پس از بازتابش، می‌شوند و از این ساز و کار برای دریافت در آنتن‌های بشقابی و یا دریافت امواج در اجاق‌های خورشیدی استفاده می‌شود.

۱۰۰- در هر بازتابی بنا بر قانون بازتاب عمومی،: افزون بر این، پرتوی تابش، بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در هر تابشی،

۱۰۱- اگر ناهموازی‌های یک بازتابنده نور از دید میکروسکوپی، از اجزای متمایز کوچکی تشکیل شده باشد که بسیار بزرگ‌تر از طول موج نور مرئی باشد، بازتابش نور مرئی از آن، بازتاب و در غیر این صورت، بازتاب نور مرئی از آن، بازتاب نامیده می‌شود.

۱۰۲- دو راه برهم کنش امواج با محیط، عبارت‌اند از و

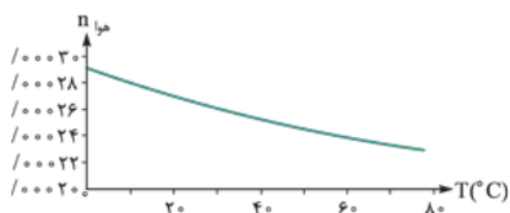
۱۰۳- یک طناب از دو بخش نازک و ضخیم تشکیل شده است. یک موج سینوسی از قسمت ضخیم به قسمت نازک آن وارد می‌شود. بسامد موج عبوری، بسامد موج فرودی است. تندی موج عبوری، تندی موج فرودی و طول موج عبوری، طول موج فرودی است.



۱۰۴- شکل روبه‌رو، موج تختی را نشان می‌دهد که از بخش با عمق در یک تشت موج، به بخشی با عمق وارد شده است.

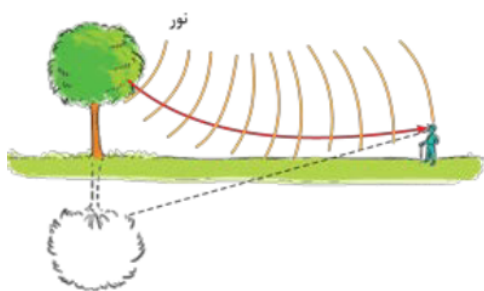
۱۰۵- نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در یک محیط، آن محیط نام دارد.

۱۰۶- اگر پرتوی نوری از محیطی به ضریب شکست n_1 ، با زاویه تابش θ_1 وارد محیط ۲ به ضریب شکست n_2 شود و با زاویه θ_2 شکسته شود، به رابطه قانون شکست اسنل گفته می‌شود.



۱۰۷- در روزهای گرم، هوای سطح زمین نسبتاً داغ است و به همین دلیل، چگالی هوای نزدیک سطح زمین از چگالی هوای بالاتر است. با استفاده از نمودار روبه‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب شکست هوا با افزایش ارتفاع از سطح زمین، می‌یابد.

۱۰۸- در پدیده سراب، خم شدن رو به بالای پرتوها به این دلیل است که بخش پایینی هر جبهه موج در هوای کمی گرم‌تر قرار دارد و بنابراین، تندی آن، از بخش بالایی جبهه موج است.



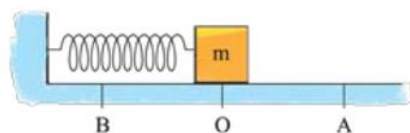
۱۰۹- وقتی باریکه نوری شامل پرتوهایی با طول موج‌های مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته می‌شوند. به این پخش‌شدگی طول موج‌های گوناگون نور، می‌گویند. دلیل این پدیده، آن است که ضریب شکست هر محیطی (به جز خلأ)، به بستگی دارد.

۱۱۰- تفاوتی که در بسامد صوت دریافت‌شده توسط یک ناظر، بر اثر حرکت چشمه صوت یا شنونده پدید می‌آید، نامیده می‌شود. این اثر، به جز امواج صوتی در مورد امواج نیز رخ می‌دهد.

پاسخ به پرسش‌ها:

۱۵۴- مطابق شکل، وزنه متصل به فنر، روی پاره خط AB حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. خانه‌های خالی جدول زیر را با کلمه‌های (بیشینه - ثابت - صفر) کامل کرده و به پاسخ‌برگ انتقال دهید.

(تجربی دی ۹۵)



مکان	A	O	B
کمیت			
انرژی جنبشی		الف	
انرژی پتانسیل	ب	پ	
انرژی مکانیکی			ت

(تجربی دی ۹۳)

۱۵۵- معادله مکان - زمان یک حرکت نوسانی ساده در SI به صورت $x = 0.02 \cos 2\pi t$ است.

الف) دامنه نوسان این حرکت چند متر است؟

ب) مکان این نوسانگر در لحظه $\frac{1}{12}$ ثانیه را بر حسب متر به دست آورید.

۱۵۶- طول یک آونگ ساده کم‌دامنه باید چند متر باشد تا با دوره تناوب ۳ s نوسان انجام دهد؟ ($g = \pi^2$)

۱۵۷- نشان دهید در یک حرکت هماهنگ ساده با دوره T، بسامد زاویه‌ای را می‌توان از رابطه $\omega = \frac{2\pi}{T}$ به دست آورد.

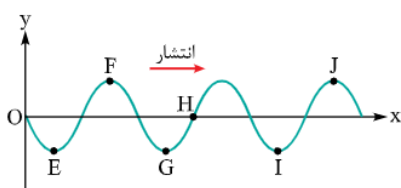
۱۵۸- رابطه انرژی مکانیکی سامانه جرم - فنر را بنویسید و با استفاده از آن، رابطه‌ای برای انرژی مکانیکی هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای به جرم m که با دامنه A و بسامد f نوسان می‌کند، به دست آورید.

۱۵۹- نشان دهید در یک حرکت هماهنگ ساده با دامنه A و بسامد زاویه‌ای ω ، تندی بیشینه برابر $A\omega$ است.

۱۶۰- شکل روبه‌رو، نمودار جابه‌جایی - مکان موج در یک طناب، در یک لحظه معین است. (ریاضی دی ۹۶)

الف) این موج طولی است یا عرضی؟ چرا؟

ب) یک نقطه با سرعت بیشینه و منفی را نام ببرید.



۱۶۱- ریسمانی به طول یک متر و جرم ۱۰۰ گرم بین دو نقطه محکم کشیده شده است. اگر نیروی کشش ریسمان ۴۰ نیوتون باشد، سرعت انتشار موج‌های عرضی در این طناب را حساب کنید.

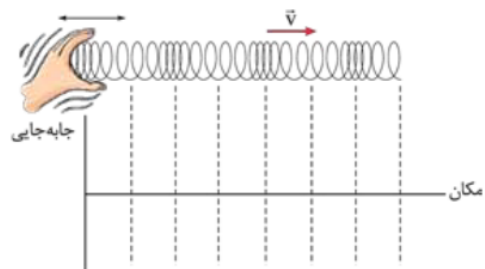
(تجربی فرورد ۹۷)

۱۶۲- الف) تعریف موج‌های طولی را بنویسید.

ب) طنابی به جرم ۲۰۰ گرم و طول ۱ متر با نیروی ۸۰ نیوتون کشیده می‌شود. اگر یک سر طناب را با بسامد ۴ هرتز عمود بر راستای طناب، به نوسان درآوریم، طول موج ایجادشده در طناب را بر حسب متر به دست آورید.

(تجربی دی ۹۳)

۱۶۳- فنر بلندی به جرم m و ثابت k ، وقتی کشیده یا فشرده نشده است، طولی برابر L_0 دارد. این فنر را در راستای افقی می کشیم تا طولش به L برسد. رابطه‌ای برای تندی انتشار موج عرضی در این فنر بر حسب k ، m ، L_0 و L به دست آورید.



۱۶۴- در شکل روبه‌رو، موج طولی در یک فنر، در یک لحظه معین دیده می‌شود. در این لحظه، حلقه‌هایی که در دست شخص قرار دارند در وسط یک جمع‌شدگی‌اند. نمودار جابه‌جایی - مکان را در زیر همین شکل، روی دستگاه مختصات نشان داده شده رسم کنید.

۱۶۵- طیف امواج الکترومغناطیسی به ترتیب کاهش بسامد از راست به چپ، مطابق عبارت زیر داده شده است. اشتباهات آن را اصلاح کنید و عبارت درست را در پاسخ برگ بنویسید.

(تجربی شهریور ۹۴)

پرتوی ایکس - پرتوی گاما - پرتوی فرابنفش - نور مرئی - امواج رادیویی - پرتوی فرسوخ

۱۶۶- شدت صوت یک شخص در یک سالن در فاصله ۱۶ متری برابر 10^{-6} W/m^2 است. شدت صوت او در فاصله ۲۰ متری چه قدر است؟

(فاز تجربی فرورد ۹۷)

۱۶۷- الف) به سطح یک میکروفون به مساحت 5 cm^2 در مدت 2 s ، انرژی صوتی به مقدار $2 \times 10^{-11} \text{ J}$ می‌رسد. شدت صوت در سطح میکروفون چند وات بر مترمربع است؟ (سطح میکروفون عمود بر راستای انتشار صوت است).

(تجربی شهریور ۹۵)

ب) تراز شدت صوت حاصل، چند دسی‌بل است؟ $(I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2, \log 2 \cong 0.3)$

(تجربی فرورد ۹۶)

۱۶۸- شدت صوت در سطح یک میکروفون 10^{-8} W/m^2 است. اگر مساحت آن 3 cm^2 باشد،

الف) در مدت ۵ ثانیه چند ژول انرژی صوتی به سطح آن می‌رسد؟ $(I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2)$

ب) تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟

(ریاضی دی ۹۷)

۱۶۹- توان متوسط یک منبع صوتی 30 W است.

الف) شدت صوت در فاصله ۵ متری منبع، چند وات بر متر مربع است؟

ب) تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟ $(I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2, \pi \cong 3)$

۱۷۰- تراز شدت صوتی در فاصله ۲۰ متری از یک چشمه صوت 60 دسی‌بل است. در چه فاصله‌ای از چشمه، صوت به زحمت شنیده می‌شود؟ (تراز شدت صوت برای آستانه شنوایی برابر صفر است).

(تجربی دی ۹۶)

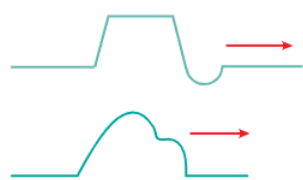
۱۷۱- با محاسبه نشان دهید تراز شدت صوت در فاصله ۲ متری از چشمه صوت، چند دسی‌بل بیشتر از تراز شدت صوت در فاصله ۲۰ متری از همان چشمه است؟

(ریاضی شهریور ۹۶)

(تجربی فرورد ۹۷)

۱۷۲- اگر فاصله از یک چشمه صوت 100 برابر شود، تراز شدت صوت چند دسی‌بل تغییر می‌کند؟

۱۷۳- آزمایشی برای اندازه‌گیری تندی صوت در هوا بیان کنید.



۱۷۴- یک تپ مانند شکل، در طنابی در حال انتشار است. شکل تپ بازتابیده از انتهای ثابت طناب را رسم کنید.

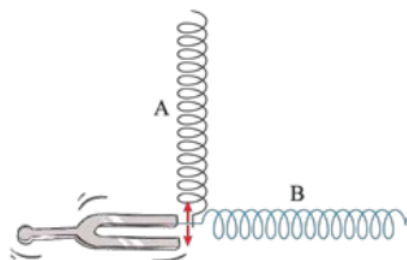
(تجربی فرورد ۹۱)

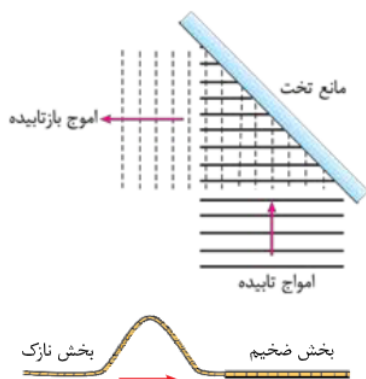
۱۷۵- الف) تپی مانند شکل در طنابی در حال انتشار است. شکل تپ بازتاب آن را از انتهای ثابت طناب رسم کنید.

(تجربی شهریور ۹۶)

ب) با توجه به جهت نوسان دی‌پازون در شکل، نوع موج ایجادشده در فنرهای A و B را از لحاظ طولی یا عرضی مشخص کنید.

(تجربی شهریور ۹۶)





۱۷۶- موج تختی همانند شکل روبه‌رو از روی یک مانع تخت، بازتابیده است. زاویه‌های تابش و بازتابش را در این شکل نشان دهید.

۱۷۷- طنابی از دو بخش نازک و ضخیم تشکیل شده است و تپی در بخش نازک روانه شده است. شکل تپ‌های بازتابیده و عبوری را به طور تقریبی رسم کنید.

۱۷۸- الف) یک موج الکترومغناطیسی نام ببرید که بسامد آن بیشتر از پرتوی X باشد.

ب) تندی امواج الکترومغناطیسی، وقتی از هوا وارد آب می‌شوند، چگونه تغییر می‌کند؟

۱۷۹- یک پرتوی نور از هوا وارد آب می‌شود، طول موج، بسامد و تندی انتشار آن به ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟

(تجربی فرداد ۹۷)

(ریاضی فرداد ۹۷)

۱۸۰- دو دانش‌آموز به نور زرد نگاه می‌کنند. یکی از آن‌ها نور زرد را ترکیب دو نور قرمز و سبز و دیگری آن را از یک نوع رنگ می‌داند. به نظر شما با چه تجربه‌ای می‌توان بین دو نظر، یکی را انتخاب کرد؟

۱۸۱- آزمایشی برای اندازه‌گیری ضریب شکست یک تیغه متوازی‌السطوح طرح کنید.

(تجربی نهایی دی ۹۷)

۱۸۲- معادله حرکت هماهنگ ساده یک نوسانگر در SI به صورت $x = 0.02 \cos 10\pi t$ است.

الف) بیشینه تندی این نوسانگر چه قدر است؟ ($\pi = 3$)

ب) در چه زمانی پس از لحظه صفر برای نخستین بار انرژی پتانسیل نوسانگر بیشینه است؟

۱۸۳- دو تار A و B با طول‌های یکسان به ترتیب با جرم‌های $g/8$ و $g/2$ ، تحت نیروی کشش برابر قرار دارند. تندی انتشار موج در تار A چند برابر تندی انتشار موج در تار B است؟

(تجربی نهایی دی ۹۷)

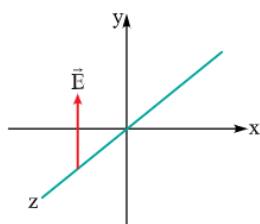
۱۸۴- یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت $\beta_1 = 120 \text{ dB}$ و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت $\beta_2 = 100 \text{ dB}$ ایجاد می‌کند. شدت‌های مربوط به

(تجربی نهایی دی ۹۷)

این دو تراز (برحسب W/m^2) به ترتیب I_1 و I_2 هستند. نسبت $\frac{I_1}{I_2}$ را تعیین کنید.

۱۸۵- طول موج نور قرمز لیزر هلیوم-نئون در هوا حدود 633 nm و در زجاجیه چشم 474 nm است. ضریب شکست زجاجیه برای این نور چه قدر است؟ (ضریب شکست هوا، یک فرض شود).

(تجربی نهایی دی ۹۷)



۱۸۶- الف) در یک لحظه خاص، میدان الکتریکی مربوط به یک موج الکترومغناطیسی در نقطه‌ای از فضا در جهت $+y$ و جهت انتقال انرژی در جهت $+x$ است. جهت میدان مغناطیسی در این لحظه در کدام سو است؟



ب) در شکل روبه‌رو ماشین آتش‌نشانی (چشمه صوتی) نسبت به دو ناظر A و B ساکن است. با حرکت ماشین به طرف ناظر A، طول موج صوت دریافتی دو ناظر ساکن A و B، چه تغییری نسبت به قبل خواهد داشت؟

(تجربی نهایی دی ۹۷)



(ریاضی نهایی دی ۹۷)

۱۸۷- الف) شکل مقابل نشان دهنده انتشار کدام موج در طول فنر است؟ چرا؟
 ب) یک موج مکانیکی از محیط (۱) وارد محیط (۲) می شود و تندی انتشار آن افزایش می یابد. طول موج و بسامد موج چگونه تغییر می کنند؟

۱۸۸- الف) دامنه نوسان یک حرکت هماهنگ ساده ۳ cm و بسامد آن ۵۰ Hz است. معادله حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) نسبت شدت صوت دو دستگاه صوتی $\frac{I_2}{I_1} = \sqrt{10}$ است. اختلاف ترازهای شدت صوت این دو دستگاه چند دسی بل است؟ (ریاضی نهایی دی ۹۷)

۱۸۹- یک پرتوی نور تحت زاویه 45° از هوا وارد محیط شفاف می شود. اگر زاویه شکست در محیط شفاف برابر 37° باشد. ضریب شکست محیط شفاف

چه قدر است؟ ضریب شکست هوا را برابر ۱ فرض کنید. ($\sin 45^\circ = 0.7$, $\sin 37^\circ = 0.6$) (ریاضی نهایی دی ۹۷)

نویسنده: تسنیم

۱.

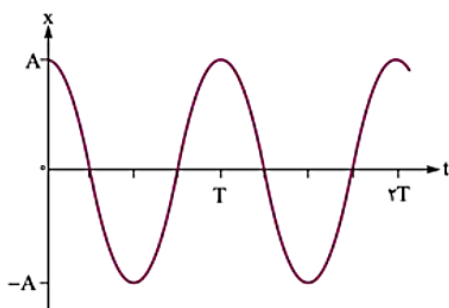
- در یک حرکت هماهنگ ساده، در بازه زمانی ای که نوسانگر از یک انتها به انتهای دیگر مسیر می‌رود، دامنه حرکت
 (۱) پیوسته کاهش می‌یابد.
 (۲) پیوسته افزایش می‌یابد.
 (۳) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.
 (۴) ثابت است.

۲.

- ذره‌ای در حال نوسان هماهنگ ساده است. 0.25 s طول می‌کشد تا این ذره از یک نقطه با تندی صفر، به نقطه بعدی با تندی صفر برسد. اگر دامنه حرکت این ذره، 18 cm باشد، مسافت پیموده شده در این مدت (برحسب سانتی‌متر) و بسامد نوسان (برحسب هرتز) کدام است؟
 (۱) 0.72 ، 2
 (۲) 0.36 ، 2
 (۳) 0.36 ، 0.5
 (۴) 0.72 ، 0.5

۳.

- نمودار جابه‌جایی - زمان یک حرکت هماهنگ ساده، به شکل روبه‌رو است. در بازه زمانی صفر تا $\frac{3T}{4}$ ، سرعت متوسط این نوسانگر کدام است؟



- (۱) $+\frac{4A}{3T}$
 (۲) $+\frac{2A}{3T}$
 (۳) $-\frac{4A}{3T}$
 (۴) $-\frac{2A}{3T}$

۴.

- اگر اندازه سرعت یک نوسان کننده که حرکت هماهنگ ساده دارد، در لحظه عبور از مبدأ v باشد، در هر دوره تناوب، چند بار اندازه سرعت آن $\frac{v}{4}$ می‌شود؟
 (۱) ۲
 (۲) ۳
 (۳) ۴
 (۴) ۸ (فارج تهری ۹۶)

۵.

- در یک حرکت هماهنگ ساده با بسامد 10 Hz ، در بازه زمانی بین $t = \frac{1}{15} \text{ s}$ تا $t = \frac{3}{40} \text{ s}$ چند ثانیه سرعت و شتاب متحرک هم‌جهت‌اند؟
 (۱) $\frac{1}{30}$
 (۲) $\frac{1}{40}$
 (۳) $\frac{1}{60}$
 (۴) $\frac{1}{20}$

معادله مکان زمان در حرکت SHM

۶.

- معادله مکان - زمان نوسانگری در SI، به صورت $x = 0.1 \cos 4\pi t$ است. حداقل چند ثانیه پس از لحظه $t = 0$ ، این نوسانگر از نقطه تعادل می‌گذرد؟
 (۱) $\frac{1}{4}$
 (۲) $\frac{1}{8}$
 (۳) $\frac{1}{2}$
 (۴) $\frac{1}{6}$

.۷

معادله مکان - زمان یک نوسانگر هماهنگ ساده در SI به صورت $x = 0.02 \cos \frac{\pi}{4} t$ است. مسافت طی شده توسط نوسانگر در ثانیه دوم، چند برابر مسافت طی شده در ثانیه اول است؟

- ۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

.۸

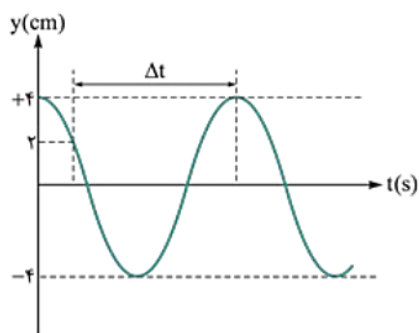


متحرکی روی پاره خط AB نوسان هماهنگ انجام می‌دهد. اگر $AC = CO = OD = DB$ باشد و متحرک

فاصله CD را حداقل در t_1 ثانیه و فاصله DB را حداقل در t_2 ثانیه طی کند، نسبت $\frac{t_1}{t_2}$ چه قدر است؟

- ۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

.۹

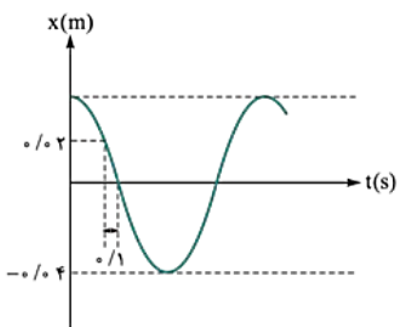


شکل مقابل، نمودار مکان - زمان نوسانگر ساده‌ای است که در هر دقیقه ۴۰ نوسان کامل

انجام می‌دهد. در این نمودار، Δt برابر با چند ثانیه است؟

- ۱ (۱) $\frac{\Delta}{4}$
۲ (۲) $\frac{4}{\Delta}$
۳ (۳) $\frac{\Delta}{6}$
۴ (۴) $\frac{6}{\Delta}$

.۱۰



نمودار مکان - زمان یک حرکت هماهنگ ساده، مطابق شکل مقابل است. معادله مکان - زمان

آن در SI، کدام است؟

- ۱ (۱) $x = 0.04 \cos \frac{\Delta \pi}{3} t$
۲ (۲) $x = 0.04 \cos \frac{\Delta \pi}{4} t$
۳ (۳) $x = 0.02 \cos \frac{\Delta \pi}{3} t$
۴ (۴) $x = 0.02 \cos \frac{\Delta \pi}{4} t$

.۱۱

دامنه حرکت هماهنگ ساده‌ای 0.06 m و بسامد زاویه‌ای آن، $\frac{\pi}{3} \text{ rad/s}$ است. از لحظه‌ای که شناسه تابع کسینوس در معادله مکان - زمان برابر

$\frac{\pi}{3} \text{ rad}$ است تا ۳ ثانیه بعد، نوسانگر چه مسافتی را (برحسب سانتی‌متر) می‌پیماید؟

- ۱ (۱) ۳ ۲ (۲) ۶ ۳ (۳) ۹ ۴ (۴) ۱۲

.۱۲

نوسانگر هماهنگ ساده‌ای در لحظه t_1 در مکان $+\frac{A}{\sqrt{2}}$ و در لحظه $t_2 > t_1$ در مکان $+\frac{A}{4}$ قرار دارد. بیشترین اندازه سرعت متوسط نوسانگر در بازه t_1 تا t_2 کدام است؟ (A دامنه نوسان و T دوره تناوب حرکت است).

$$12(\sqrt{2}-1)\frac{A}{T} \quad (1) \quad 12(\sqrt{2}+1)\frac{A}{T} \quad (2) \quad \frac{12(\sqrt{2}-1)A}{T} \quad (3) \quad 12(\sqrt{2}+1)\frac{A}{T} \quad (4)$$

.۱۳

ذره‌ای روی پاره خطی به طول ۸ سانتی‌متر حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. این ذره در یک بازه زمانی دلخواه $\frac{1}{4}$ دوره تناوب بیشترین جابه‌جایی‌ای که ممکن است داشته باشد، چند سانتی‌متر است؟

$$4\sqrt{2} \quad (1) \quad 2\sqrt{2} \quad (2) \quad 4 \quad (3) \quad 2 \quad (4)$$

.۱۴

معادله مکان - زمان نوسانگری به جرم 2 kg در SI به صورت $x = 0.2 \cos 5\pi t$ است. در بازه زمانی‌ای که نوسانگر از نقطه تعادل به یک انتهای مسیر می‌رود، اندازه نیروی خالص متوسط وارد بر آن حداکثر چند نیوتون است؟ ($\pi = 3$)

$$12 \quad (1) \quad 60 \quad (2) \quad 120 \quad (3) \quad 12 \quad (4)$$

سایمانه جرم و فنر؟

.۱۵

هر قدر به سختی یک فنر افزوده شود، وقتی که وزنه‌ای به آن بسته شده و به نوسان درآید، نوسان‌های آن،
 (۱) بسامد، بیشتر می‌شود (۲) بسامد، کم‌تر می‌شود (۳) دوره تناوب، بدون تغییر می‌ماند (۴) دامنه، الزاماً بیشتر می‌شود

.۱۶

به انتهای یک فنر با جرم ناچیز، وزنه‌ای 500 گرمی می‌بندیم و آن را روی سطح افقی بدون اصطکاک، با دامنه کم به نوسان درمی‌آوریم. اگر ثابت فنر 20 نیوتون بر متر باشد، وزنه در هر دقیقه چند نوسان کامل انجام خواهد داد؟ ($\pi^2 = 10$)

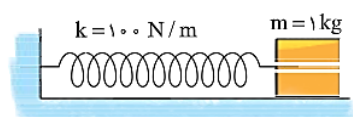
$$12 \quad (1) \quad 18 \quad (2) \quad 30 \quad (3) \quad 60 \quad (4)$$

.۱۷

وزنه 400 گرمی را به فنری که ثابت آن k و جرم آن ناچیز است، متصل کرده و روی سطح افقی بدون اصطکاک به نوسان درمی‌آوریم. وزنه چند گرمی به وزنه قبلی اضافه کنیم تا دوره تناوب نوسان $1/5$ برابر شود؟

$$200 \quad (1) \quad 500 \quad (2) \quad 600 \quad (3) \quad 900 \quad (4)$$

.۱۸



در شکل روبه‌رو، وزنه را روی سطح افقی از نقطه تعادل 10 سانتی‌متر به سمت راست کشیده و از حال سکون رها می‌کنیم. تندی وزنه هنگام عبور از نقطه تعادل، چند متر بر ثانیه است؟ (از اصطکاک بین سطح و وزنه چشم‌پوشی کنید.)

$$1/5 \quad (1) \quad 1 \quad (2) \quad 0/5 \quad (3) \quad 1/5 \quad (4)$$

.۱۹

نوسانگری به انتهای فنر سبکی با ثابت 100 نیوتون بر متر بسته شده است و با دامنه 4 سانتی متر، حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد. انرژی جنبشی آن در لحظه ای که از مبدأ نوسان می گذرد، چند ژول است؟

- (۱) $0/06$ (۲) $0/08$ (۳) $0/12$ (۴) $0/16$

.۲۰

اگر E و m به ترتیب انرژی مکانیکی و جرم یک نوسانگر ساده باشند، تندی نوسانگر در لحظه عبور از نقطه تعادل برابر با کدام است؟ (کمیت ها در SI هستند.)

- (۱) $\left(\frac{2E}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$ (۲) $\frac{E}{2m^2}$ (۳) $\frac{2E}{m^2}$ (۴) $\left(\frac{E}{2m}\right)^{\frac{1}{2}}$

.۲۱

نوسانگری به جرم 100 گرم، روی پاره خطی به طول 20 cm حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد و حداقل در مدت زمان $\frac{1}{4}$ ثانیه، از مرکز نوسان به انتهای مسیر می رسد. انرژی جنبشی نوسانگر در مرکز نوسان، چند میلی ژول است؟ ($\pi^2 = 10$)

- (۱) 2 (۲) 8 (۳) 20 (۴) 25

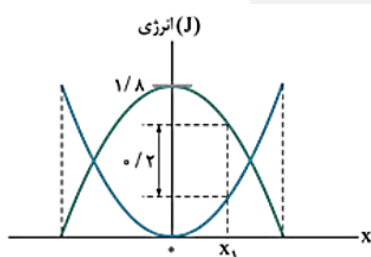
.۲۲

یک سامانه جرم - فنر، در حال حرکت هماهنگ ساده با دامنه A و بسامد زاویه ای ω است. تندی وزنه در لحظه ای که انرژی جنبشی و پتانسیل سامانه برابر می گردد، کدام است؟

- (۱) $A\omega$ (۲) $\frac{1}{2}A\omega$ (۳) $\frac{\sqrt{2}}{2}A\omega$ (۴) $\frac{\sqrt{3}}{2}A\omega$

.۲۳

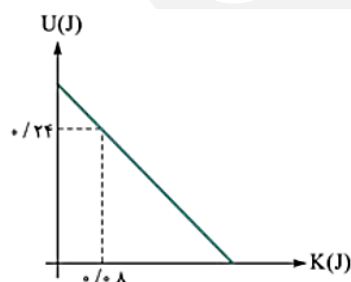
نمودارهای روبه رو، ارتباط انرژی جنبشی و پتانسیل یک سامانه جرم - فنر با وزنه ای به جرم 2 kg را با جابه جایی از نقطه تعادل نشان می دهند. با توجه به داده های این شکل، در لحظه ای که وزنه از نقطه تعادل به اندازه x_1 جابه جا شده است، تندی آن چند متر بر ثانیه است؟



- (۱) 2 (۲) 1 (۳) $\sqrt{2}$ (۴) $0/5$

.۲۴

یک سامانه جرم - فنر با ثابت فنر 100 N/m روی سطح افقی بدون اصطکاک نوسان می کند و نمودار روبه رو، ارتباط انرژی پتانسیل کشسانی را با انرژی جنبشی نشان می دهد. دامنه نوسان وزنه چند سانتی متر است؟



- (۱) 4 (۲) 2 (۳) 8 (۴) 16

آونگ :

.۲۵

دو نوسانگر، اولی یک آونگ ساده و دومی، جسم متصل به یک فنر، هر دو روی زمین نوسان می کنند. وقتی این دو نوسانگر از زمین دور شده و به نوسان درآیند، دوره تناوب نوسان آن‌ها چگونه تغییر می کند؟

- (۱) اولی بزرگ شده و دومی بی تغییر می ماند.
 (۲) اولی بزرگ شده و دومی کوچک می شود.
 (۳) اولی کوچک شده و دومی بزرگ می شود.
 (۴) هر دو کوچک می شوند.

.۲۶

طول نخ آونگ ساده‌ای را نصف می کنیم. دوره تناوب آن چند برابر می شود؟

- (۱) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (۲) $\frac{1}{2}$ (۳) $\sqrt{2}$ (۴) ۲

.۲۷

آونگ A و آونگ B را در یک محل، با هم به نوسان درمی آوریم. آونگ A در مدت ۶۰ ثانیه ۱۰ نوسان کامل و آونگ B در همین مدت ۵ نوسان کامل انجام می دهد. طول آونگ A چند برابر طول آونگ B است؟

- (۱) $\frac{1}{4}$ (۲) $\frac{1}{2}$ (۳) ۲ (۴) ۴

.۲۸

در محلی که شتاب گرانش g است، دوره تناوب نوسان‌های کم دامنه آونگی T است. اگر این آونگ به محلی برده شود که شتاب گرانش $\frac{9}{19}g$ کم تر از g باشد، دوره تناوب آن تقریباً چند برابر T می شود؟

- (۱) $\frac{3}{5}$ (۲) $\frac{9}{5}$ (۳) $\frac{1}{3}$ (۴) $\frac{1}{1}$

.۲۹

آونگ ساده‌ای که نوسانات کم دامنه انجام می دهد، در یک مدت معین ۴ نوسان کامل انجام می دهد. طول آونگ را چگونه تغییر دهیم تا در همان مدت و مکان قبلی، یک نوسان بیشتر انجام دهد؟

- (۱) ۲۵ درصد افزایش دهیم. (۲) ۲۵ درصد کاهش دهیم. (۳) ۳۶ درصد افزایش دهیم. (۴) ۳۶ درصد کاهش دهیم.

.۳۰

نخی به طول ۱۰۰ cm را به دو قسمت تقسیم کرده و با هر قسمت یک آونگ ساده می سازیم. اگر دوره تناوب یکی از آونگ‌ها ۳ برابر دوره تناوب آونگ دیگر باشد، طول آونگ با دوره تناوب بزرگ تر چند سانتی متر است؟

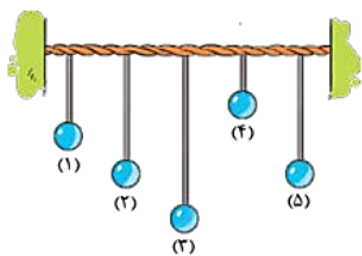
- (۱) ۱۰ (۲) ۳۰ (۳) ۶۰ (۴) ۹۰

.۳۱

اگر به نوسانگری یک نیروی دوره‌ای اعمال شود، در صورتی که بسامد نیروی اعمال شده با بسامد طبیعی نوسانگر برابر نباشد، ...

- (۱) انرژی‌ای به نوسانگر منتقل نمی شود.
 (۲) پدیده تشدید رخ می دهد.
 (۳) دامنه نوسان، پیوسته افزایش می یابد و می تواند مشکل‌زا باشد.
 (۴) انرژی‌ای کم تر از حالت تشدید به نوسانگر منتقل می شود.

۳۲.



در شکل روبه‌رو ۵ آونگ ساده از یک ریسمان افقی آویزان شده‌اند و آونگ‌های (۲) و (۵) طول یکسانی دارند. اگر آونگ شماره (۵) را به نوسان درآوریم، ...

(۱) آونگ‌های دیگر به نوسان درمی‌آیند.
 (۲) فقط آونگ (۲) به نوسان درمی‌آید.
 (۳) آونگ (۲) زودتر از همه می‌ایستد.
 (۴) هیچ‌یک از آونگ‌های دیگر به نوسان در نمی‌آیند.

موج

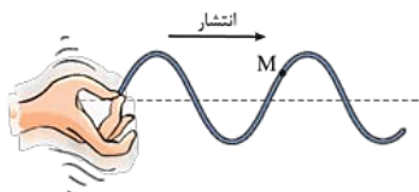
۳۳.

برخی از موج‌ها برای انتشار، به محیط عادی نیاز : این گونه موج‌ها را موج‌های می‌نامند.

(۱) ندارند، مکانیکی (۲) دارند، الکترومغناطیسی (۳) دارند، مکانیکی (۴) ندارند، صوتی

۳۴.

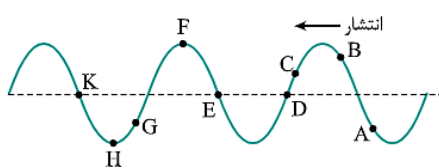
شکل زیر، یک تصویر لحظه‌ای از موج عرضی در یک طناب است. در لحظه نشان داده شده در این شکل، جهت جابه‌جایی جزء M از طناب و جهت حرکت آن (به ترتیب از راست به چپ)، در کدام گزینه درست نشان داده شده است؟



- (۱) \uparrow, \uparrow
 (۲) \downarrow, \uparrow
 (۳) \rightarrow, \uparrow
 (۴) \uparrow, \downarrow

۳۵.

شکل مقابل، یک موج عرضی سینوسی را در یک لحظه مشخص نشان می‌دهد. در این لحظه حرکت چند جزء از اجزاء نام گذاری شده با حروف A تا K، رو به بالا و تندشونده است؟



- (۱) ۱
 (۲) ۲
 (۳) ۳
 (۴) ۴

۳۶.

اگر دامنه نوسان یک چشمه موج ۲ برابر شود، تندی انتشار موج در محیط چه تغییری می‌کند؟

(۱) تغییر نمی‌کند. (۲) نصف می‌شود. (۳) ۲ برابر می‌شود. (۴) ۴ برابر می‌شود.

۳۷.

طنابی بین دو نقطه به فاصله ۱۲ m از یکدیگر کشیده شده و اندازه کشش آن 30 N است. اگر یک سر طناب را عمود بر طناب تکان دهیم، تپ ایجاد شده پس از 4 s به سر دیگر طناب می‌رسد. جرم این طناب چند گرم بوده است؟

- (۱) ۴۰ (۲) ۴۰۰ (۳) ۲۰ (۴) ۲۰۰

۳۸

سیمی با چگالی ۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب و سطح مقطع ۱ میلی‌متر مربع، بین دو نقطه با نیروی ۸۰ نیوتون کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی در این سیم، چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۱۰۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۳۰۰ (۴) ۴۰۰

۳۹

به کدام روش زیر می‌توان تندی انتشار موج عرضی در یک طناب را کاهش داد؟

- (۱) کم کردن دامنه موج
(۲) بریدن قسمتی از طناب و کوتاه کردن طول آن
(۳) کاهش اندازه کشش طناب
(۴) گزینه‌های (۲) و (۳)

۴۰

تندی انتشار یک موج عرضی در یک طناب برابر با 20 m/s است. اندازه نیروی کشش طناب چند درصد و چگونه تغییر کند تا تندی انتشار موج در طناب 6 m/s افزایش یابد؟

- (۱) ۶۹ درصد کاهش (۲) ۶۹ درصد افزایش (۳) ۱۹ درصد کاهش (۴) ۱۹ درصد افزایش

۴۱

موجی عرضی در یک محیط منتشر می‌شود و فاصله بین دو قله متوالی آن 10 سانتی‌متر است. اگر تندی انتشار موج در آن محیط 5 متر بر ثانیه باشد، بسامد موج چند هرتز است؟

- (۱) ۱۰ (۲) ۵۰ (۳) ۲۵ (۴) ۱۰۰

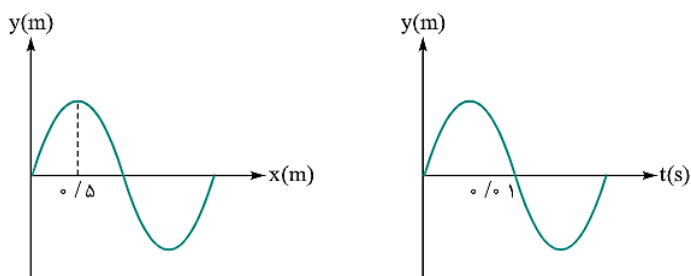
۴۲

یک موج عرضی با دامنه 0.1 m و طول موج $1/5 \text{ m}$ در طنابی انتشار می‌یابد. یک جزء این طناب در مدت 0.1 s ، مسافت 12 m را می‌پیماید. تندی انتشار این موج چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۲۵ (۲) ۴۵ (۳) ۱۵ (۴) ۵

۴۳

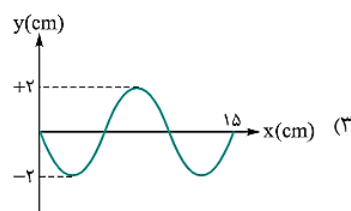
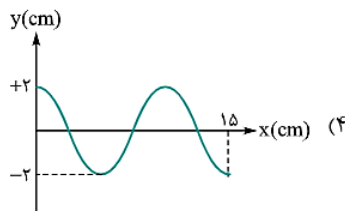
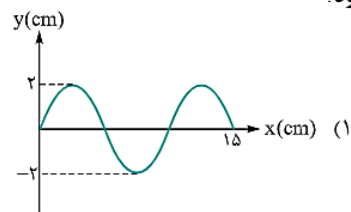
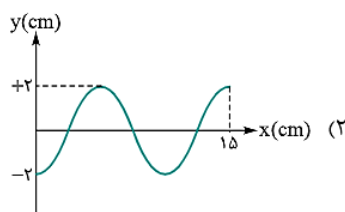
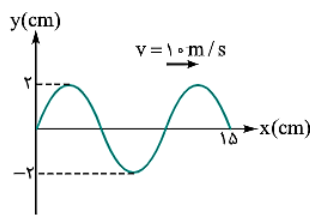
نمودار جابه‌جایی - مکان یک موج در یک لحظه خاص و نمودار جابه‌جایی - زمان یک جزء از محیط انتشار این موج، مطابق شکل‌های مقابل است. این موج مسافت 150 m را در چند ثانیه می‌پیماید؟



- (۱) $1/5$
(۲) ۲
(۳) $2/5$
(۴) ۳

۴۴

شکل روبه‌رو، تصویری لحظه‌ای از یک موج است. این تصویر پس از $\frac{1}{400}$ s به کدام شکل زیر خواهد بود؟



.۴۵

دو موج مکانیکی A و B در یک محیط کشسان منتشر می‌شوند. اگر بسامد موج A، ۴ برابر بسامد موج B باشد، طول موج و تندی انتشار موج A چند برابر طول موج و تندی انتشار موج B است؟ (به ترتیب از راست به چپ)

- (۱) 1 و $\frac{1}{4}$ (۲) $\frac{1}{4}$ و 2 (۳) 1 و $\frac{1}{4}$ (۴) 2 و $\frac{1}{4}$

امواج صوتی :

.۴۶

دو نفر در دو انتهای یک لوله فلزی به طول 550 m ایستاده‌اند. اگر نفر اول ضربه‌ای به لوله بزند، نفر دوم دو صدا به فاصله زمانی 1 s از هم می‌شنود. اگر تندی صوت در هوای درون لوله برابر با 300 m/s باشد، تندی صوت در دیواره لوله چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) 330 (۲) 660 (۳) 720 (۴) 900

.۴۷

یک موج صوتی به گوش شخصی می‌رسد. شرط لازم برای شنیده شدن آن کدام است؟

- (۱) بسامد آن، کمتر از 20 هرتز باشد. (۲) بسامد آن، بیشتر از 20000 هرتز باشد.
(۳) بسامد آن، بیشتر از 20 هرتز و کمتر از 20000 هرتز باشد. (۴) چون موج، صوتی بوده است، شرطی لازم نیست و حتماً شنیده می‌شود.

.۴۸

صفحه حساس یک میکروفون به مساحت 3 cm^2 بر راستای انتشار صوت عمود است و در مدت 5 ثانیه، $J = 1/5 \times 10^{-11}$ انرژی صوتی به صفحه می‌رسد. شدت صوت در سطح این صفحه چند میکرووات بر متر مربع است؟

- (۱) $2/5 \times 10^{-8}$ (۲) 10^{-8} (۳) $0/01$ (۴) $0/25$

.۴۹

شدت صوتی $3/2 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ است. تراز شدت این صوت، چند دسی‌بل است؟ $(I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2)$ و $\log 2 = 0/3$

- (۱) 85 (۲) 25 (۳) 15 (۴) 95

.۵۰

- تراز شدت صوتی ۱۵ دسی بل است. شدت این صوت چند برابر شدت صوت مرجع است؟ ($\log 2 = 0.3$)

- (۱) ۵۰ (۲) ۳۰ (۳) ۳۲ (۴) ۲۴

.۵۱

- اختلاف تراز شدت دو صوت برابر با ۳ دسی بل است. شدت صوت قوی تر چند برابر شدت صوت ضعیف تر است؟ ($\log 2 = 0.3$)

- (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۲۰ (۴) ۳۰

.۵۲

اگر صدایی ۱۲ دسی بل بلندتر از صدای دیگر باشد، شدت صدای بلندتر چند برابر شدت صدای دیگر است؟ ($\log 2 = 0.3$)

- (۱) ۱۶ (۲) ۳۲ (۳) ۱۰۲ (۴) ۱۰۱۲

.۵۳

یک منبع صوت، در یک فضای باز امواجی را گسیل می کند و در فاصله ۵ متری آن تراز شدت صوت ۶۰ دسی بل است. توان متوسط منبع صوت چند میلی وات است؟ (از اتلاف انرژی صوتی در هوا صرف نظر شود و $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$)

- (۱) 0.1π (۲) 0.2π (۳) 0.1π (۴) 0.02π

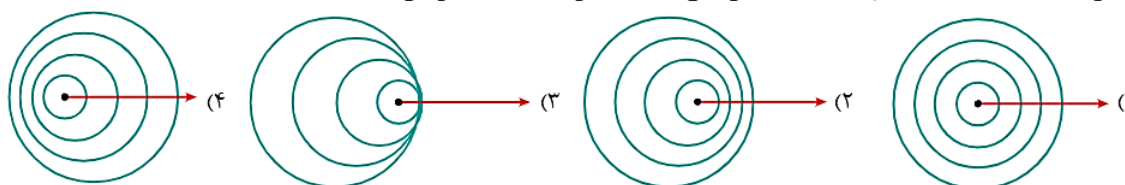
.۵۴

- در فاصله ۲۰ متری از یک منبع صوت، تراز شدت صوت ۸۰ دسی بل است. در چند سانتی متری منبع، تراز شدت صوت ۱۲۰ دسی بل است؟ (از جذب انرژی صوتی توسط محیط صرف نظر کنید.)

- (۱) ۲۰ (۲) ۴۰ (۳) ۸۰ (۴) ۲۰۰

.۵۵

یک چشمه صوت که با سرعت ثابت به طرف راست در حرکت است، امواج صوتی با بسامد ثابت در محیط پدید می آورد. اگر تندی حرکت این چشمه کم تر از تندی انتشار صوت باشد، کدام گزینه جبهه های موج حاصل از آن را درست نشان می دهد؟



.۵۶

کدام گزینه در مورد موج های الکترومغناطیسی درست است؟

- (۱) ذره های محیط انتشار خود را به نوسان درمی آورند.
 (۲) نمی توانند در محیط مادی منتشر شوند.
 (۳) موج عرضی به شمار می روند.
 (۴) هر سه گزینه قبل درست است.

.۵۷

کدام گزینه درست است؟

- (۱) میدان الکتریکی را تنها بارهای الکتریکی ایجاد می‌کنند.
- (۲) میدان الکتریکی فقط در اثر تغییر میدان مغناطیسی به وجود می‌آید.
- (۳) میدان الکتریکی را بارهای الکتریکی و تغییر میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد.
- (۴) بارهای الکتریکی و تغییر میدان مغناطیسی نمی‌توانند میدان الکتریکی را ایجاد کنند.

.۵۸

کدام عبارت در مورد موج‌های الکترومغناطیسی درست نیست؟

- (۱) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در این موج، بر هم عمودند.
- (۲) تندی انتشار موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ یکسان است.
- (۳) تعداد نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در واحد زمان، با هم برابر است.
- (۴) طول موج، فاصله بین دو نقطه است که در آن دو، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هم‌گام با یکدیگر تغییر می‌کنند.

.۵۹

طول موج یک متر تا یک کیلومتر، مربوط به کدام محدوده موج‌های الکترومغناطیسی است؟

- (۱) رادیویی (۲) فرابنفش (۳) نور مرئی (۴) فروسرخ

.۶۰

کدام گزاره زیر درباره موج‌های الکترومغناطیسی، نادرست است؟

- (۱) پرتو X، فروسرخ، فرابنفش، نور مرئی و گاما از این موج‌ها هستند.
- (۲) موج‌هایی عرضی هستند.
- (۳) از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم تشکیل می‌شوند.
- (۴) حامل بار الکتریکی هستند.

.۶۱

در نوعی آنتن رادیو که به آنتن CB معروف است، طول آنتن $\frac{1}{4}$ طول موج موج الکترومغناطیسی‌ای است که آنتن دریافت می‌کند. اگر طول یک آنتن CB برابر $2/5 \text{ m}$ باشد، بسامد موجی که این آنتن دریافت می‌کند، چند مگاهرتز است؟

- (۱) ۶ (۲) ۳ (۳) ۶۰ (۴) ۳۰

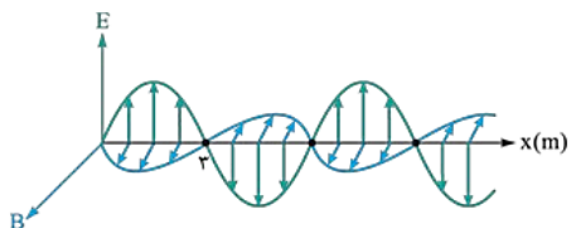
.۶۲

در یک موج الکترومغناطیسی، طول موج $3 \times 10^5 \text{ nm}$ است. دوره تناوب موج چند ثانیه است؟

- (۱) 10^{-13} (۲) 10^{-12} (۳) 5×10^{-13} (۴) 5×10^{-12}

.۶۳

شکل مقابل یک موج الکترومغناطیسی را در یک لحظه نشان می‌دهد. بسامد آن چند مگاهرتز است؟



- (۱) ۵
(۲) ۱۰
(۳) ۵۰
(۴) ۱۰۰

.۶۴

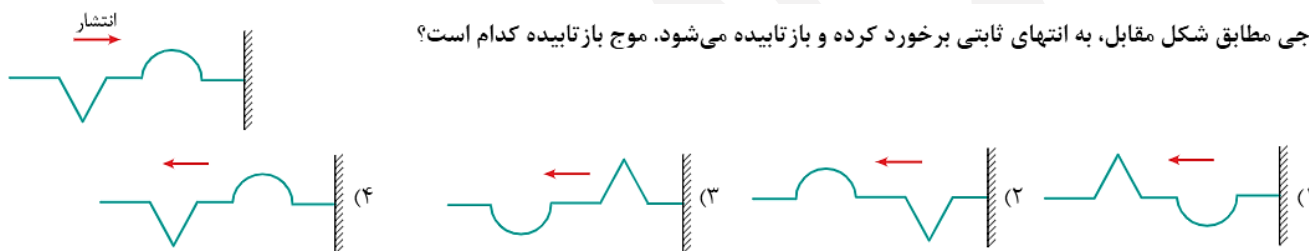
از جنس کدام کمیت زیر است؟ $\left(\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}\right)$

- (۱) انرژی (۲) شتاب (۳) تندی (۴) زمان

پارتاب موج؟

.۶۵

موجی مطابق شکل مقابل، به انتهای ثابتی برخورد کرده و بازتابیده می‌شود. موج بازتابیده کدام است؟



.۶۶

زاویه بین راستای پرتوی تابش و بازتابش در یک آینه تخت، $\frac{1}{4}$ زاویه بین پرتوی تابش و سطح آینه است. زاویه تابش چند درجه است؟

- (۱) ۱۰ (۲) ۱۸ (۳) ۲۰ (۴) ۲۴

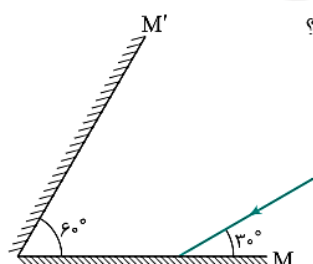
.۶۷

در یک آینه تخت، اگر زاویه تابش نور ۲۰ درجه افزایش یابد، زاویه بین پرتوی تابش و بازتاب چند درجه تغییر می‌کند؟

- (۱) صفر (۲) ۱۰ (۳) ۲۰ (۴) ۴۰

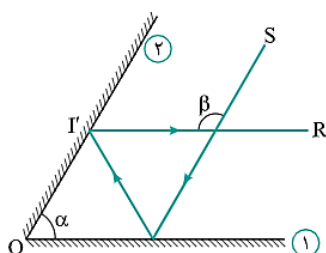
.۶۸

در شکل مقابل، پرتوی نور پس از بازتاب از آینه M به آینه M' می‌تابد. زاویه تابش در آینه M' چند درجه است؟



- (۱) صفر
(۲) ۳۰
(۳) ۶۰
(۴) ۹۰

۶۹.



مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی SI پس از بازتابش از آینه‌های تخت، در مسیر I'R می‌شود. اندازه

زاویه β چند برابر زاویه α است؟

۱ (۱)

۲ (۲)

 $\frac{3}{2}$ (۳)

(۴) بستگی به زاویه تابش آینه (۱) دارد.

۷۰.

صوت حاصل از یک چشمه ساکن، در مدت $\frac{4}{\circ}$ ثانیه به یک دیوار برخورد کرده و به محل چشمه برمی‌گردد. اگر بسامد چشمه صوت 40 کیلوهرتز

و طول موج $\frac{8}{75}$ میلی‌متر باشد، فاصله چشمه صوت تا دیوار چند متر است؟

۱۷۵ (۴)

۱۴۰ (۳)

۷۰ (۲)

۳۵ (۱)

شکست موج؟

۷۱.

دو طناب از یک ماده که شعاع مقطع یکی ۳ برابر دیگری است، در یک نقطه به هم گره خورده و طناب مرکب را میان دو نقطه بسته‌ایم. موجی

با طول موج 45 سانتی‌متر در طناب نازک ایجاد می‌کنیم. طول موج ایجادشده در طناب کلفت، چند سانتی‌متر است؟

۴۰۵ (۴)

۱۳۵ (۳)

۱۵ (۲)

۵ (۱)

۷۲.

نور تک‌رنگی از هوا وارد آب می‌شود. پارامترهای تندی انتشار، بسامد و طول موج آن به ترتیب از راست به چپ، چگونه تغییر می‌کند؟

(۲) کاهش، ثابت، کاهش

(۱) افزایش، افزایش، ثابت

(۴) افزایش، ثابت، افزایش

(۳) کاهش، کاهش، ثابت

۷۳.

یک موج الکترومغناطیسی با طول موج 600 nm از هوا با زاویه تابش صفر، وارد شیشه با ضریب شکست $\frac{1}{5}$ می‌شود. تندی این موج در هوا را با c

نشان می‌دهیم. کدام گزینه تندی این موج در شیشه و طول موج آن را در شیشه، درست بیان می‌کند؟

400 nm ، $\frac{2c}{3}$ (۴)

400 nm ، c (۳)

600 nm ، c (۲)

600 nm ، $\frac{2c}{3}$ (۱)

۷۴.

اگر طول موج پرتویی از نور نارنجی در خلأ برابر $\frac{6}{\circ}$ میکرون باشد، بسامد آن پرتو در مایع شفافی به ضریب شکست $\frac{4}{3}$ ، چند هرتز است؟

$\frac{15}{4} \times 10^{15}$ (۴)

$\frac{20}{3} \times 10^{14}$ (۳)

4×10^{15} (۲)

5×10^{14} (۱)

.۷۵

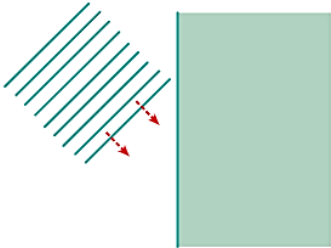
بسامد پرتوی تک‌رنگی در یک محیط شفاف به ضریب شکست n برابر با 5×10^{14} Hz است. اگر طول موج این پرتو در این محیط 200 nm از طول

موج آن در خلأ کم‌تر باشد، ضریب شکست n چه قدر است؟ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

- (۱) $\frac{4}{3}$ (۲) $\frac{3}{2}$ (۳) $\frac{6}{5}$ (۴) $\frac{5}{3}$

.۷۶

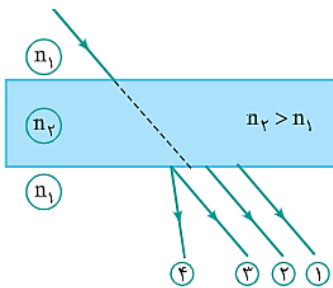
موج تختی همانند شکل مقابل به محیط جدیدی نزدیک می‌شود و وارد آن می‌گردد. تندی موج در دو محیط، متفاوت است. با ورود به محیط جدید، جهت انتشار موج و فاصله جبهه‌های موج (به ترتیب از راست به چپ)



- (۱) ثابت می‌ماند، تغییر می‌کند.
 (۲) ثابت می‌ماند، ثابت می‌ماند.
 (۳) تغییر می‌کند، تغییر می‌کند.
 (۴) تغییر می‌کند، ثابت می‌ماند.

.۷۷

در شکل روبه‌رو، پرتوی خروجی از تیغه شفاف کدام است؟



- (۱) (۱)
 (۲) (۲)
 (۳) (۳)
 (۴) (۴)

.۷۸

پرتوی نوری از هوا به سطح یک تیغه شیشه‌ای می‌تابد و قسمتی از آن بازتاب پیدا می‌کند و قسمتی نیز با انحراف 15° درجه وارد شیشه می‌شود. اگر زاویه بین پرتوی بازتابش و پرتوی شکست 125° درجه باشد، زاویه شکست چند درجه است؟

- (۱) 20° (۲) 30° (۳) 35° (۴) 45°

.۷۹

تندی کدام پرتو در یک منشور شیشه‌ای کم‌تر است؟

- (۱) آبی (۲) بنفش (۳) سبز (۴) قرمز