به نام خداوند بخشنده مهربان

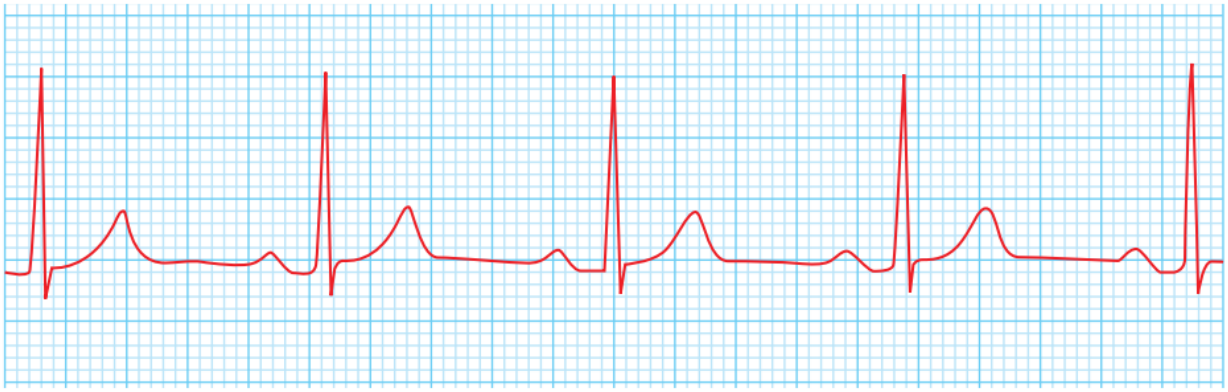
فیزیک
نوسان و موج
کنکور سراسری و آزمون نهایی
دکتر عبدالرضا خواجه زاده

استفاده از این جزوه فقط برای دانش آموزان شرکت کننده در کلاس فیزیک دکتر خواجه زاده مجاز است.
از نظر شرعی استفاده از آن برای سایر دانش آموزان و همچنین اساتید مجاز نیست.

دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷

تعریف نوسان دوره ای

- به حرکت هایی که در بازه های زمانی مساوی و متوالی عیناً تکرار می شود، حرکت های دوره ای گفته می شود.
- اگر حرکت های دوره ای به شکل نوسانی (یعنی به شکل رفت و برگشت) باشند، به آنها «نوسان های دوره ای» می گوییم.
- برای مثال:
  - ضربان منظم قلب، تاب خوردن یک بچه، حرکت رفت و برگشتی پیستون در موتور اتومبیل و ... نمونه هایی از نوسان دوره ای هستند.

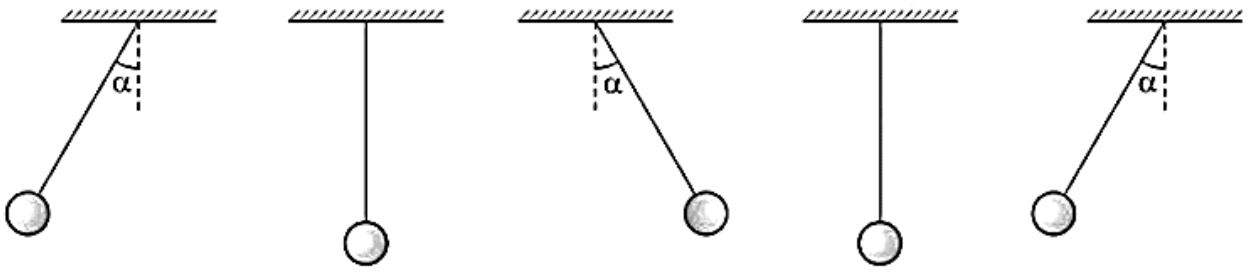


چرخه یا سیکل

- به هر نوسان کامل، یک چرخه یا سیکل گفته می شود.
- برای به دست آوردن یک چرخه یا سیکل کامل، می توان دو نقطه مشخص مشابه از دو تا چرخه متوالی را به هم متصل کرد.

دوره تناوب

- مدت زمان انجام یک چرخه یا سیکل را دوره تناوب می نامیم.
- دوره تناوب را با نماد T نشان می دهیم.
- واحد دوره تناوب، همان واحد زمان، برای مثال در SI ثانیه می باشد.
- هر متحرک نوسان گر، برای طی کردن یک بار طول مسیر نوسان معادل نصف زمان تناوب، زمان نیاز دارد.
- برای مثالف آونگ زیر به اندازه زاویه α از وضع قائم منحرف شده و سپس رها شده است، این آونگ در مدت نصف زمان T یک بار طور مسیر نوسان را طی می کند.



- بنابراین نوسان گر، در یک نوسان کامل، دو بار طول مسیر نوسان را طی می کند.
- یعنی هر رفت و برگشت، معادل یک نوسان کامل و معادل یک دوره تناوب می باشد.

بسامد یا فرکانس

- به مدت زمان یک نوسان کامل، دوره تناوب گفته می شود.
- به تعداد نوسان هایی که در مدت زمان یک ثانیه، انجام می شود، بسامد یا فرکانس می گوییم.
- نماد زمان تناوب T و نماد بسامد یا فرکانس f می باشد.

- واحد یا یکای زمان تناوب ثانیه می باشد.
- واحد یا یکای بسامد در SI هرتز می باشد و با نماد Hz نشان داده می شود.
- هرتز معادل s^{-1} (معکوس ثانیه) است.

رابطه بسامد و دوره تناوب

- اگر نوسانگر در مدت زمان t ثانیه، n تا نوسان کامل داشته باشد، دوره تناوب از رابطه زیر به دست می آید:

$$T = \frac{t}{n}$$

- اگر نوسانگر در یک ثانیه، n تا نوسان انجام دهد، از رابطه زیر می توان بسامد را محاسبه کرد:

$$f = \frac{t}{n}$$

- بنابراین، بسامد و دوره تناوب معکوس هم هستند:

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

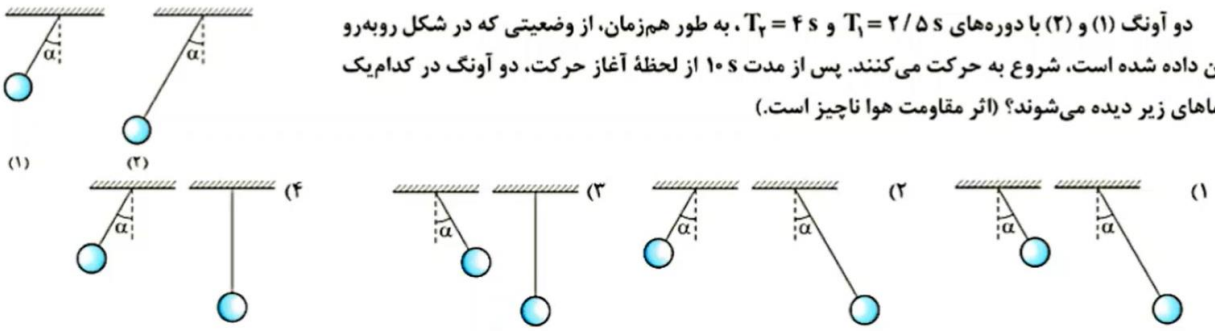
دو آونگ سادهٔ A و B را با هم و با دامنهٔ کم به نوسان درمی‌آوریم. اگر دورهٔ نوسان آونگ A برابر ۱/۸ ثانیه و دورهٔ نوسان آونگ B برابر ۱/۵ ثانیه باشد، پس از گذشت ۳۶ ثانیه، آونگ B چند نوسان بیشتر از آونگ A انجام می‌دهد؟

۱) ۱۲ ۲) ۸ ۳) ۴ ۴) ۶

فاصلهٔ نوسانگری از مرکز نوسان، در لحظه‌های $t = 2n + 1$ ثانیه $(n = 0,1,2,\ldots)$ بیشینه می‌شود. بسامد این نوسانگر چند هرتز است؟

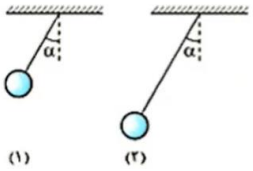
۱) ۰/۲۵ ۲) ۰/۵ ۳) ۲ ۴) ۴

دو آونگ (۱) و (۲) با دوره‌های $T_1 = 2/5\ s$ و $T_2 = 4\ s$، به طور هم‌زمان، از وضعیتی که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است، شروع به حرکت می‌کنند. پس از مدت ۱۰ s از لحظهٔ آغاز حرکت، دو آونگ در کدام‌یک از نماهای زیر دیده می‌شوند؟ (اثر مقاومت هوا ناچیز است.)



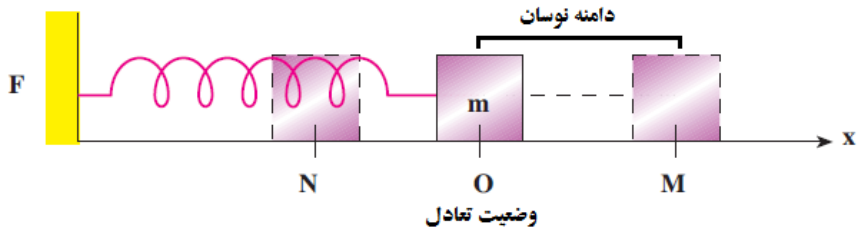
دو آونگ (۱) و (۲) با دوره‌های $T_1 = 2/5\ s$ و $T_2 = 4\ s$، به طور هم‌زمان، از وضعیتی که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است، شروع به حرکت می‌کنند. آونگ ۱ پس از چند ثانیه ۶ نوسان از آونگ ۲ جلو می‌افتد؟

۱) ۲۰ ۲) ۳۰ ۳) ۴۰ ۴) ۶۰



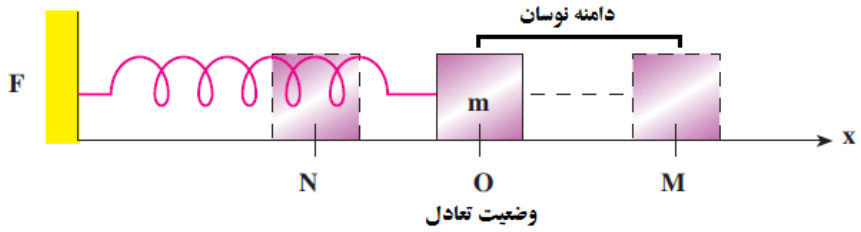
ویژگی های حرکت هماهنگ ساده

- حرکت هماهنگ ساده نوع خاصی از حرکت نوسانی می باشد که روی یک پاره خط و حول نقطه وسط آن انجام می شود.
- بنابراین به حرکت رفت و برگشت منظم یک جسم روی یک پاره خط، حرکت هماهنگ ساده گفته می شود.



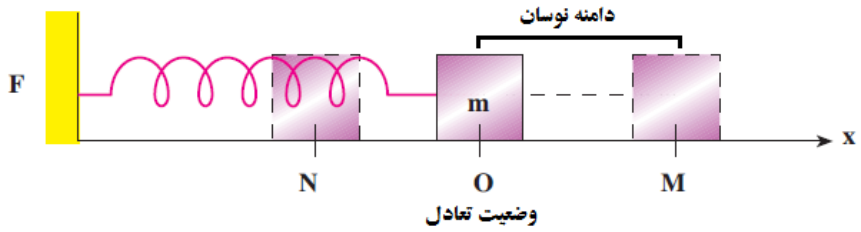
- مرکز نوسان:
  - به نقطه تعادل یا نقطه وسط پاره خط که نوسانگر حول آن، نوسان را انجام می دهد، نقطه تعادل گفته می شود. (نقطه O)
  - مرکز نوسان، مبدأ مکان نوسانگر می باشد.
- دامنه نوسان:
  - به بیشترین فاصله نوسانگر از نقطه تعادل، دامنه گفته می شود. ($A = x_{max}$)
  - دامنه را با A نشان می دهند.

- مکان نوسانگر یا بعد:
  - در هر لحظه، فاصله نوسانگر از مرکز نوسان را مکان یا بعد نوسانگر می نامیم.
  - اگر نوسانگر در سمت راست مرکز تعادل باشد، بعد یا مکان آن مثبت است و اگر در سمت چپ باشد، بعد یا مکان آن منفی می باشد.
  - بنابراین، مکان نوسانگر در هر لحظه، برابر با جابه جایی آن از نقطه تعادل است.
  - اگر نوسانگر روی محور x حرکت کند، مکان آن را با x و اگر روی محور y حرکت کند، مکان آن را با y نشان می دهیم.



نقطه های بازگشت

- نوسانگر زمانی که به انتهای پاره خط می رسد، تغییر جهت می دهد.
- به نقاطی که نوسانگر در آن تغییر جهت می دهد، نقاط بازگشت گفته می شود.
- نقاط بازگشت معادل $x = \pm A$ می باشد.



نیرو در حرکت هماهنگ ساده

- در حرکت هماهنگ ساده، نوسانگر روی یک پاره خط و حول نقطه تعادل نوسان می کند، به طوری که نیروی وارد بر نوسانگر، متناسب با جابه جایی نوسانگر از نقطه تعادل در خلاف جهت آن است.
- نیروی وارد بر نوسانگر همواره به سمت نقطه تعادل یا مرکز نوسان است.
  - به عبارتی نیروی وارد بر نوسانگر همواره تلاش می کند جسم را به سمت مرکز نوسان یا نقطه تعادل برگرداند.
- بنابراین زمانی که جسم نوسانگر در سمت راست مرکز تعادل (در مکان مثبت) قرار دارد، علامت نیروی وارد بر آن منفی است، زیرا نیرو به سمت چپ و به سمت مرکز تعادل می باشد.
- و زمانی که جسم نوسانگر در سمت چپ مرکز تعادل (در مکان منفی) قرار دارد، علامت نیروی وارد بر آن مثبت است، زیرا نیرو به سمت راست و به سمت مرکز تعادل است.

- می دانیم شتاب هم جهت نیرو است.
  - بنابراین زمانی که نوسانگر در مکان مثبت قرار دارد، هم شتاب و هم نیروی وارد بر آن منفی است.
  - و زمانی که نوسنگر در مکان منفی قرار دارد، هم شتاب و هم نیروی وارد بر آن مثبت خواهد بود.
- بنابراین:
  - نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن، از نظر علامت همواره مخالف مکان نوسانگر می باشند.

مقدار نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن

- اندازه نیروی وارد بر نوسانگر ثابت نیست.
- مقدار نیروی وارد بر نوسانگر با فاصله از نقطه تعادل متناسب است.
- با دور شدن نوسانگر از نقطه تعادل، نیرو و شتاب آن افزایش می یابد.
  - به طوری که در دو انتهای مسیر که فاصله نوسانگر از نقطه تعادل بیشینه است، اندازه نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن هم بیشینه است.
  - در مرکز نوسان، که فاصله نوسانگر از نقطه تعادل صفر است، نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن صفر است.

$$x = \pm A \Rightarrow F = \mp F_m$$
$$x = 0 \Rightarrow F = 0$$

تندشونده یا کندشونده بودن در حرکت هماهنگ ساده

- سرعت در حرکت هماهنگ ساده، ثابت نیست (همانند شتاب و نیرو)
- در مرکز نوسان، نوسانگر دارای بیشترین سرعت است.
- بنابراین در مدتی که نوسانگر به نقطه تعادل نزدیک می شود، حرکت آن به صورت تند شونده است.

- و مدت زمانی که نوسانگر در حال دور شدن از نقطه تعادل است، حرکت آن کند شونده می باشد.

جمع بندی کلی، علامت و مقدار کمیت ها در حرکت هماهنگ ساده

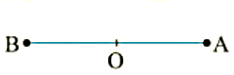
- در حرکت هماهنگ ساده:
  - در مرکز تعادل:
    - ❖ سرعت نوسانگر بیشینه است.
    - ❖ مکان نوسانگر صفر است.
    - ❖ نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن صفر است.
  - در نقاط بازگشت:
    - ❖ سرعت نوسانگر صفر است.
    - ❖ مکان نوسانگر بیشینه و برابر با دامنه است.
    - ❖ نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن بیشینه است.
  - در سمت راست نقطه تعادل:
    - ❖ مکان مثبت است.
    - ❖ نیرو و شتاب منفی می باشند.
    - ❖ اگر نوسانگر به سمت راست حرکت کند، سرعت آن مثبت و اگر به سمت چپ حرکت کند، سرعت آن منفی است.
    - ❖ اگر نوسانگر به سمت راست حرکت کند، جابه جایی آن مثبت است.
    - ❖ علامت تغییرات سرعت (نه خود سرعت) با علامت شتاب یکسان است، پس تغییرات سرعت منفی است.
  - در سمت چپ نقطه تعادل:
    - ❖ مکان منفی است.
    - ❖ نیرو و شتاب مثبت است.
    - ❖ اگر نوسانگر به سمت چپ حرکت کند، سرعت آن منفی و اگر به سمت راست حرکت کند، سرعت آن مثبت است.
    - ❖ اگر نوسانگر به سمت چپ حرکت کند، جابه جایی آن منفی است.
    - ❖ علامت تغییرات سرعت (نه خود سرعت) با علامت شتاب یکسان است، پس تغییرات سرعت مثبت است.
  - نکات مهم:
    - ❖ هرگاه جسم به سمت راست حرکت کند، سرعت آن مثبت است. و اگر به سمت چپ حرکت کند سرعت آن منفی است.
    - ❖ شتاب و نیرو همواره از نظر علامت مخالف مکان هستند.
    - ❖ علامت جابه جایی (تغییر مکان) با علامت سرعت یکسان است.
    - ❖ علامت تغییر سرعت با علامت شتاب یکسان است.

روابط طول مسیر و دامنه و دوره تناوب

- در حرکت هماهنگ ساده، طول مسیر نوسان ۲ برابر دامنه است.

$$\text{طول مسیر نوسان} = 2A$$

- نوسانگر در هر دوره تناوب، ۲ بار طول مسیر نوسان را طی می کند.
  - بنابراین: مسافت طی شده توسط نوسانگر در هر دوره تناوب (مدت زمان T)، معادل ۴ برابر دامنه می باشد.
- زمان جابه جایی نوسانگر از مرکز نوسان تا یک انتهای مسیر و برعکس، برابر با یک چهارم T می باشد.
- زمان جابه جایی نوسانگر بین دو انتهای مسیر، برابر با نصف دوره T می باشد.
- زمان بین دو عبور متوالی نوسانگر از مرکز نوسان، هم برابر با نصف دوره T می باشد.



متحرکی میان دو نقطهٔ A و B حرکت هماهنگ ساده دارد. اگر در لحظهٔ $t_1 = 1\,s$ در نقطهٔ B و در لحظهٔ $t_2 = 7\,s$ در نقطهٔ A باشد، بزرگ‌ترین دورهٔ حرکت چند ثانیه است؟ *(سراسری ریاضی ۸۶، با تغییر)*

۱) ۱۲ ۲) ۸ ۳) ۴ ۴) ۲

پاسخ گزینهٔ «۱» بازهٔ زمانی جابه‌جایی متحرک بین دو نقطهٔ A و B برابر ۶ s است:

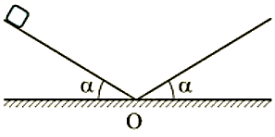
$$\Delta t = t_2 - t_1 = 7 - 1 = 6\,s$$

اگر متحرک در این مدت فقط یک بار طول مسیر AB را طی کرده باشد، دورهٔ آن بیشینه خواهد بود. زمانِ یک بار طی‌کردن مسیر نوسان، برابر نصف دوره است:

$$\Delta t = \frac{T}{2} \Rightarrow \frac{T}{2} = 6 \Rightarrow T = 12\,s$$

تندی جسمی ثابت است. حرکت این جسم چگونه می‌تواند باشد؟ *(سراسری تجربی قدیمی)*

۱) امکان ندارد دوره‌ای باشد. ۲) ممکن است دوره‌ای باشد.
۳) ممکن است هماهنگ ساده باشد. ۴) گزینه‌های ۲ و ۳



در شکل روبه‌رو، جسم کوچکی از ارتفاع معینی روی سطح شیب‌دار بدون اصطکاکی رها می‌شود و پس از عبور از نقطهٔ O روی سطح شیب‌دار مشابهی تا همان ارتفاع اولیه بالا می‌رود. نوع حرکت جسم چگونه است؟

۱) دوره‌ای است، اما نوسانی نیست. ۲) نوسانی است، اما هماهنگ ساده نیست.
۳) هماهنگ ساده است. ۴) دوره‌ای نیست.

در لحظه‌ای که بزرگی شتاب یک نوسانگر هماهنگ ساده کاهش می‌یابد، کدام‌یک از کمیت‌های آن افزایش می‌یابد؟

۱) تکانه ۲) جابه‌جایی از نقطهٔ تعادل ۳) بسامد ۴) انرژی مکانیکی

نوسانگر هماهنگ ساده‌ای حول مبدأ مختصات، روی محور yها در نوسان است. در لحظه‌ای که نیروی وارد بر نوسانگر منفی باشد، علامت‌های مکان و سرعت آن، به ترتیب از راست به چپ، چگونه است؟ *(سراسری تجربی قدیمی)*

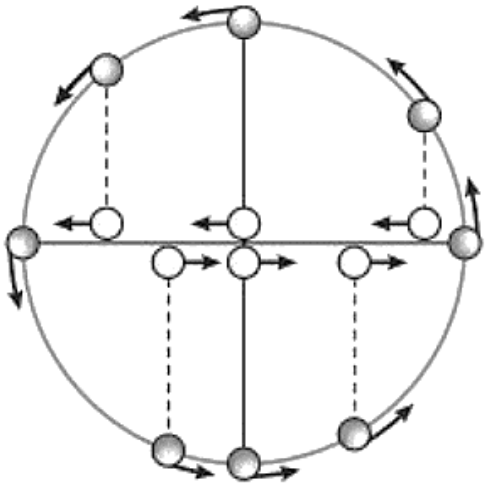
۱) مثبت ـ مثبت یا منفی ۲) مثبت یا منفی ـ منفی ۳) منفی ـ مثبت یا منفی ۴) مثبت یا منفی ـ مثبت

نوسانگر هماهنگ ساده‌ای در لحظه‌های $t = ۱\,s$ ، $t = ۳\,s$ و $t = ۷\,s$ به ترتیب برای اولین، دومین و سومین بار به فاصلهٔ ۲ سانتی‌متری از نقطهٔ تعادلش قرار می‌گیرد. دورهٔ تناوب نوسانگر چند ثانیه است؟

۱) ۶ ۲) ۸ ۳) ۱۲ ۴) ۱۴

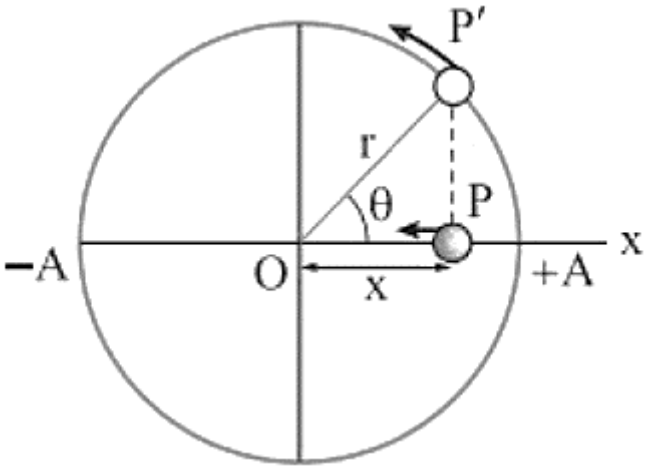
معادله حرکت هماهنگ ساده

- به معادله مکان بر حسب زمان، معادله حرکت گفته می شود.
- حرکت نوسانی هماهنگ ساده را می توان توسط یک دایره مرجع درک کرد.
- در این دایره، یک ذره به طور یکنواخت (تندی ثابت) در جهت مثلثاتی (پادساعتگرد) روی دایره می چرخد.
- تصویر (سایه) این ذره روی قطر افقی و البته روی قطر قائم این دایره، یک حرکت نوسانی هماهنگ ساده می باشد.
- زمانی که ذره روی دایره، یک دور کامل را طی کند، تصویر (سایه) ذره، روی قطر دایره، حرکت رفت و برگشتی دارد.



- به این دایره، دایره مرجع گفته می شود و ابزار بسیار مفیدی برای درک حرکت هماهنگ ساده می باشد.

- در دایره مرجع، قطر را معادل $2A$ یعنی معادل کل مسیر نوسانگر در نظر می گیریم.



- نتیجه کلی اینکه برای هر مکان نوسانگر، می توان یک زاویه θ در نظر گرفت.
- زمانی که ذره در مکان +A قرار دارد، زاویه برابر با صفر است.
- برای مثال، در شکل فوق، زمانی که ذره در مکان P' روی دایره در حال حرکت است، نوسانگر در مکان P قرار دارد.
- برای زاویه θ می توان کسینوس را به صورت زیر نوشت: (دقت کنید r = A)

$$\cos\theta = \frac{x}{r} \Rightarrow x = r\cos\theta \Rightarrow \boldsymbol{x = A\cos\theta}$$

- معادله فوق، معادله حرکت هماهنگ ساده می باشد.

- می توان با یک تناسب ساده، رابطه بین زاویه و دوره تناوب T را به دست آورد.
- زمانی که ذره روی دایره، یک دوره کامل را طی می کند، نوسانگر روی قطر یک رفت و برگشت کامل دارد.
- نتیجه اینکه، هر دوره کامل T معادل 2π (یک دور کامل دایره) می باشد. بنابراین می توان زمان معادل Δθ را (معادل Δt) به دست آورد:

$$\Delta\theta = \frac{2\pi}{T}\Delta t$$

بسامد زاویه ای

- به نسبت $\frac{2\pi}{T}$ بسامد زاویه ای گفته می شود.

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

- بسامد زاویه ای را با نماد ω (امگا) نشان می دهیم.
- در حقیقت بسامد زاویه ای، مقدار زاویه ای (برحسب رادیان) است که نوسانگر در واحد زمان طی می کند.
- واحد آن رادیان بر ثانیه می باشد.
  - می دانیم:

$$\Delta\theta = \frac{2\pi}{T}\Delta t \Rightarrow \boldsymbol{\Delta\theta = \omega\Delta t}$$

شناسه تابع یا فاز نوسانگر

- اگر فرض کنیم نوسانگر در مبدأ زمان از مکان x = +A (نقطه بازگشت سمت راست) شروع و در جهت منفی محور مکان (به سمت چپ) شروع به حرکت می کند، می توان برای Δθ در هر لحظه رابطه زیر را نوشت:

$$\Delta\theta = \omega\Delta t \Rightarrow \theta - \theta_o = \omega(t - t_o) \Rightarrow \theta - 0 = \omega(t - 0) \Rightarrow \theta = \omega t$$

- به θ = ωt شناسه تابع یا فاز نوسانگر گفته می شود.

- فاز یا شناسه تابع را با نماد فی φ هم نشان می دهیم.

رابطه معادله حرکت، بسامد و دوره تناوب برحسب بسامد زاویه ای

- می دانیم:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}\ ,\quad f = \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \omega = 2\pi f$$

- معادله حرکت هماهنگ ساده به صورت زیر است:

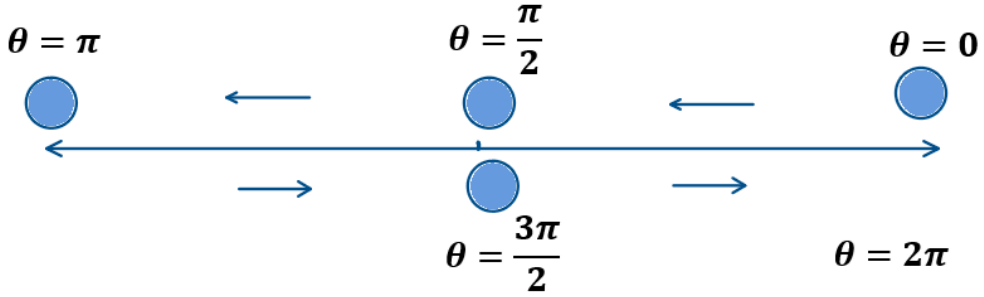
$$x = A\cos\theta$$

- بنابراین با توجه به رابطه $\theta = \omega t$ می توان برای معادله حرکت نوشت:

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

شناسه تابع یا فاز نوسانگر در نقاط مختلف

- به $\theta = \omega t$ شناسه تابع یا فاز نوسانگر گفته می شود.
- در حرکت هماهنگ ساده، زاویه یا فاز صفر را نقطه بازگشت سمت راست در نظر می گیریم.
- بنابراین زمانی که نوسانگر در نقطه بازگشت سمت راست قرار دارد، (یعنی $x = +A$) فاز آن صفر است.
- زمانی که نوسانگر به سمت مرکز نوسان حرکت می کند، فاز آن افزایش می یابد. در مرکز نوسان فاز نوسانگر ۹۰ درجه می باشد.
- زمانی که در سمت چپ، نوسانگر در حال دور شدن از مرکز نوسان است، زاویه در حال افزایش بوده و در نقطه بازگشت سمت چپ یعنی در $x = -A$ زاویه معادل ۱۸۰ درجه می شود.
- در بازگشت از نقطه سمت چپ، زاویه از ۱۸۰ بیشتر شده و در مرکز نوسان زاویه به ۲۷۰ درجه می رسد.
- در نهایت نوسانگر با رسیدن به نقطه اولیه به زاویه ۳۶۰ درجه می رسد و یک نوسان کامل را طی کرده است.



محاسبه سریع زمان جابه جایی بین دو نقطه

- در حرکت نوسانی هماهنگ ساده، بین زمان و مسافت رابطه مستقیم وجود ندارد.
  - دلیل آن این است که با نزدیک شدن به مرکز نوسان، سرعت نوسانگر بیشتر شده در نتیجه در زمان های کمتر جابه جایی بیشتری انجام می دهد.
- اما در حرکت نوسانی ساده می توان بین تغییر زاویه در مکان های اولیه و نهایی، و زمان رابطه مستقیم برقرار کرد.

$$\Delta\theta = \omega\Delta t$$

  - به طور ساده، متحرک هر ۳۶۰ درجه را در T ثانیه طی می کند.
  - پس هر ۱۸۰ درجه را در نصف T طی می کند.
  - و با یک تناسب ساده متوجه می شویم برای مثال اگر نوسانگر بخواهد زاویه ۱۵ درجه را طی کنید باید یک بیست و چهارم T طول بکشد. $(\frac{T}{24})$

- اگر مکان نوسانگر داده شده بود، ابتد از روی معادله حرکت نوسانگر، $\cos\theta$ را حساب می کنیم.
- دو تا جواب برای زاویه به دست می آید که با توجه به جهت حرکت نوسانگر می توانید یکی از آنها را انتخاب کنید.
- با محاسبه زاویه، می توانید اختلاف زاویه مکان اولیه و نهایی را محاسبه کرده و با تناسب ساده، به زمان برسید.

- چند نکته مهم:
  - دقت کنید، نقطه وسط پاره خط نوسان یا نقطه O مرکز نوسان است. به اندازه یک چهارم T طول می کشد که برای اولین بار نوسانگر از این نقطه عبور کند.
  - زمانی که نوسانگر درست در وسط A قرار دارد، یعنی در زاویه ۶۰ درجه قرار گرفته است، زیرا کسینوس ۶۰ درجه برابر یا یک دوم است. به عبارتی نقطه وسط A معادل ۴۵ درجه نیست.
  - نقطه معادل ۴۵ درجه از رابطه معادله حرکت هماهنگ ساده قابل محاسبه است:

$$A = x\cos\theta \Rightarrow A = x\cos 45 \Rightarrow A = \frac{\sqrt{2}}{2}x$$

دورهٔ نوسانگری در یک حرکت هماهنگ ساده ۱/۲ s است و در یک لحظه، مکان نوسانگر مثبت و برابر نصف دامنه و حرکت آن در این لحظه تندشونده است. حداقل چند ثانیه طول می‌کشد تا نوسانگر به بیشترین فاصلهٔ خود از نقطهٔ تعادل برسد؟

۱) ۰/۱ ۲) ۰/۲ ۳) ۰/۴ ۴) ۰/۵

معادلهٔ حرکت نوسانگری در SI به صورت $x = 0/04\cos 20\pi t$ است. این نوسانگر در چه لحظه‌ای (برحسب ثانیه) برای اولین بار، تغییر جهت می‌دهد؟

۱) ۰/۰۲۵ ۲) ۰/۰۵ ۳) ۵ ۴) ۱۰

معادلهٔ حرکت نوسانگری در SI به صورت $x = 0/04\cos\frac{\pi}{2}t$ است. در چه لحظه‌ای (برحسب ثانیه) تندی این نوسانگر برای اولین بار بیشینه می‌شود؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) $\frac{1}{8}$ ۴) $\frac{1}{16}$

معادلهٔ حرکت نوسانگری در SI به صورت $x = 0/04\cos\pi t$ است. این نوسانگر در مدت یک دقیقه چند چرخه را انجام می‌دهد؟

۱) ۳۰ ۲) ۶۰ ۳) ۱۲۰ ۴) ۲۴۰

معادلهٔ حرکت نوسانگری در SI به صورت $x = ۲\cos ۱۰\pi t$ است. این نوسانگر در مدت یک دقیقه چند بار طول مسیر نوسان را طی می‌کند؟

۱) ۱۲ ۲) ۲۴ ۳) ۳۰۰ ۴) ۶۰۰

معادلهٔ حرکت نوسانگری در SI به صورت $x = ۰/۰۴\cos\frac{\pi}{۶}t$ است. این نوسانگر در چه لحظه‌ای برای اولین بار به صورت کندشونده از ۲ سانتی‌متری نقطهٔ تعادل عبور می‌کند؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

دورهٔ تناوب و دامنهٔ حرکت نوسانگر A به ترتیب ۲ s و ۲ cm بیشتر از دوره و دامنهٔ حرکت نوسانگر B است. اگر معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگر B در SI به صورت $x_B = \cos\pi t$ باشد و دو نوسانگر به طور هم‌زمان شروع به حرکت کرده باشند، معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگر A در SI کدام است؟

۱) $x_A = ۱/۲\cos\frac{\pi}{۲}t$ ۲) $x_A = ۱/۲\cos ۲\pi t$ ۳) $x_A = ۱/۰۲\cos\frac{\pi}{۲}t$ ۴) $x_A = ۱/۰۲\cos ۲\pi t$

در شکل زیر، ذره‌ای روی محور x بین نقاط A و B حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. اگر نوسانگر در مبدأ زمان از نقطهٔ A شروع به حرکت کرده و در لحظهٔ $t = ۲\ s$ برای اولین بار از نقطهٔ C عبور کند، معادلهٔ مکان ـ زمان آن در SI کدام است؟

۱) $x = ۰/۰۴\cos\frac{\pi}{۳}t$ ۲) $x = ۰/۰۸\cos\frac{\pi}{۳}t$ ۳) $x = ۰/۰۸\cos\frac{۵\pi}{۱۲}t$ ۴) $x = ۰/۰۴\cos\frac{۵\pi}{۱۲}t$

ذره‌ای در یک حرکت هماهنگ ساده پاره‌خطی به طول ۲۰ cm را در هر دقیقه ۱۲۰۰ بار می‌پیماید. این نوسانگر در مبدأ زمان از ۱۰ سانتی‌متری نقطهٔ تعادل در جهت منفی محور x شروع به حرکت می‌کند. معادلهٔ مکان ـ زمان این نوسانگر در SI کدام است؟

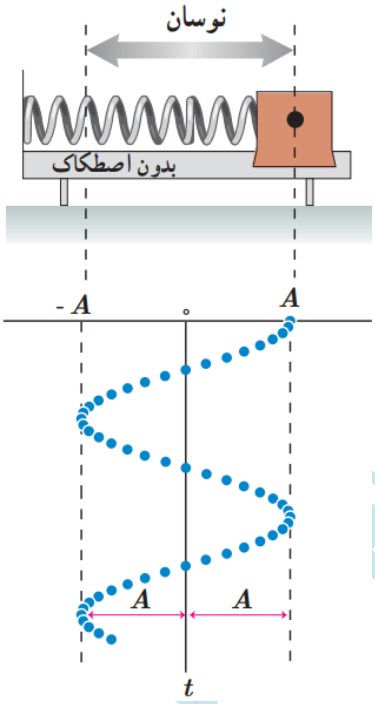
۱) $x = ۰/۱\cos ۱۰\pi t$ ۲) $x = ۰/۱\cos ۲۰\pi t$ ۳) $x = ۰/۲\cos ۱۰\pi t$ ۴) $x = ۰/۲\cos ۲۰\pi t$

ذره‌ای در یک حرکت هماهنگ ساده پاره‌خطی به طول ۲۰ cm را در هر ثانیه ۲۰ بار طی می‌کند. اگر این نوسانگر از ۱۰ سانتی‌متری نقطهٔ تعادل در جهت منفی محور x شروع به حرکت کرده باشد، در چه لحظه‌ای (برحسب ثانیه) برای اولین بار از نقطهٔ تعادل عبور می‌کند؟

۱) $\frac{۱}{۴۰}$ ۲) $\frac{۱}{۲۰}$ ۳) $\frac{۱}{۱۰}$ ۴) $\frac{۱}{۸۰}$

نمودار مکان ـ زمان حرکت هماهنگ ساده

- معادله مکان ـ زمان در حرکت هماهنگ ساده به فرم یک تابع سینوسی است. بنابراین نمودار مکان ـ زمان آن هم یک نمودار سینوسی می باشد.
- به منظور ترسیم نمودار مکان ـ زمان در حرکت نوسانی هماهنگ ساده می توان از ابزار ساده ای مانند شکل زیر استفاده کرد.



نکات مهم در ترسیم یک نمودار حرکت هماهنگ ساده

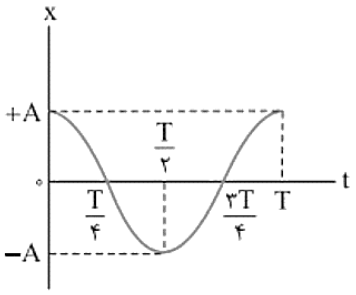
- زمانی که معادله حرکت هماهنگ ساده را داریم، می توان به راحتی دامنه حرکت را به دست آورد.

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

- دامنه حرکت نوسانگر هماهنگ ساده، نشان می دهد که نوسانگر از مکان $x = +A$ شروع به حرکت می کند.
- بنابراین می توان به راحتی نمودار یک نوسان کامل را ترسیم کرد.
- ماکسیمم این نمودار A و مینیمم آن $-A$ می باشد.
- در مورد محور افقی که زمان است، می توان از روی بسامد زاویه ای، T را محاسبه کرد.

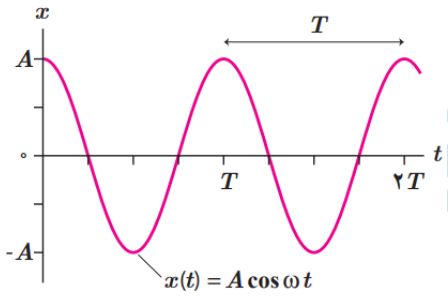
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

- T مدت زمان یک نوسان کامل است.
- به راحتی با محاسبه T می توان برای نقاط مختلف نمودار حرکت، زمان های مختلف را جایگذاری کرد.

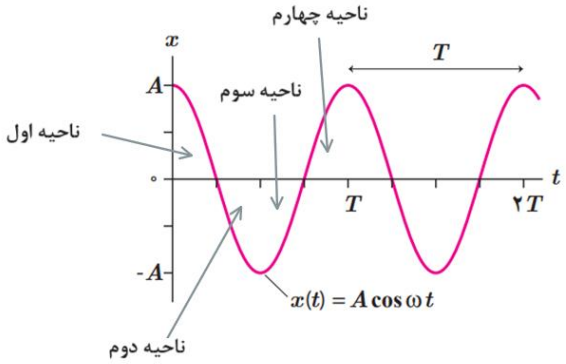


t	x
۰	A
T/۴	۰
T/۲	−A
۳T/۴	۰
T	A

• حرکت نوسانگر از لحظه T به بعد دوباره از نو تکرار می شود، پس نمودار مکان زمان یک حرکت نوسانی هماهنگ ساده مرتباً تکرار می شود.



• برای یافتن زاویه معادل یک مکان خاص از روی نمودار حرکت هماهنگ ساده، از معادله حرکت استفاده کنید، مقدار x را بر A تقسیم کنید تا کسینوس زاویه به دست آید. در این موارد، دو تا زاویه برای کسینوس به دست می آید، با توجه به علامت و ناحیه مکان مورد نظر، می توانید زاویه را انتخاب کنید.



برای محاسبه سریع: به ناحیه نقطه مورد نظر دقت کنید

• در حرکت هماهنگ ساده، خیلی سریع می توانید از تقسیم x یا مکان نوسانگر بر A میزان کسینوس زاویه را به دست آورید.

• با محاسبه میزان کسینوس زاویه، به راحتی زاویه را محاسبه می کنیم.

• اگر اولین زاویه ای که برای کسینوس محاسبه می کنید را با α نشان دهید.

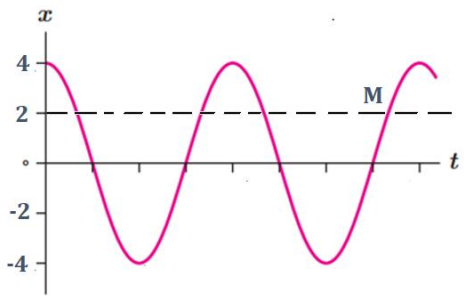
○ پس از محاسبه زاویه مربوط به یک نقطه، اگر آن نقطه در ناحیه اول قرار داشت، خود زاویه را در نظر بگیرید. θ = α

○ اگر نقطه مورد نظر در ربع دوم قرار داشت: θ = π - α

○ اگر نقطه مورد نظر در ناحیه یا ربع سوم قرار داشت: θ = π + α

○ اگر نقطه مورد نظر در ناحیه یا ربع چهارم قرار داشت: $\theta = 2\pi - \alpha$

- مثال:
- به نقطه M در شکل زیر توجه کنید:



- به راحتی متوجه می شوید که نقطه M در زاویه یا فاز 60 درجه قرار دارد. زیرا در مکان 2 یعنی نصف دامنه قرار دارد. کسینوس زاویه 60 درجه برابر یا 0.5 می باشد.
- حالا باید ناحیه M را پیدا کنید. نوسان کامل اول را رد می کنیم. و از نوسان دوم، نواحی را شمارش می کنیم. مشخص می شود که M در ناحیه چهارم قرار دارد. پس فاز متناظر با نقطه M عبارت است از:

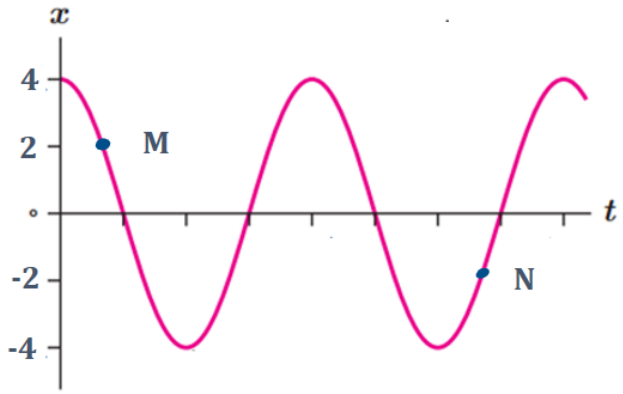
$$\theta = 2\pi - \frac{\pi}{3} = 360 - 60 = 300$$

- پس می توان گفت، نقطه M یک نوسان کامل و یک 300 درجه را طی کرده است. نوسان کامل معادل T می باشد.
- پس برای زمان متناظر با M داریم:

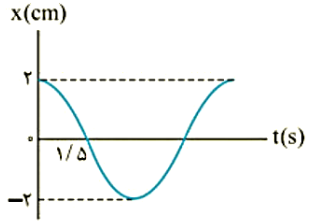
$$t = T + \frac{300}{360}T = T + \frac{5}{6}T = \frac{11}{6}T$$

- مثال:

○ در شکل، زاویه یا فاز متناظر با نقاط M و N را مشخص کنید. و مشخص کنید زمان منتاظر هر نقطه چند برابر T می باشد.



نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل است. فاصلهٔ نوسانگر از مبدأ در لحظهٔ $t = 1s$ چند سانتی‌متر است؟



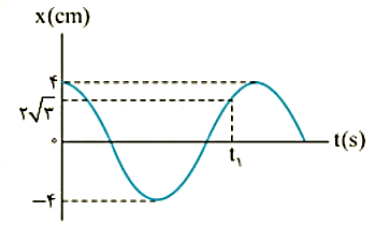
۱) ۱

۲) $\sqrt{۲}$

۳) $\sqrt{۳}$

۴) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$

شکل مقابل نمودار مکان ـ زمان نوسانگری را نشان می‌دهد که در هر دقیقه ۴۰ نوسان انجام می‌دهد. در این نمودار، t_1 برابر با چند ثانیه است؟ *(سراسری تجربی خارج ۸۵، با تغییر)*



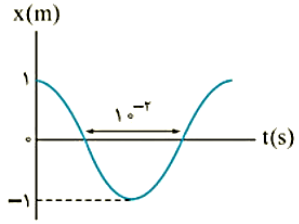
۱) $\frac{۵}{۴}$

۲) $\frac{۱۱}{۸}$

۳) $\frac{۵}{۶}$

۴) $\frac{۶}{۵}$

نمودار مکان ـ زمان نوسانگری در یک حرکت هماهنگ ساده مطابق شکل روبه‌رو است. معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگر در SI کدام است؟



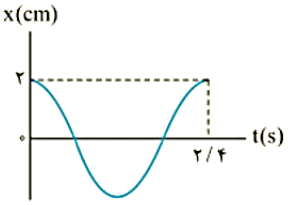
۱) $x = \cos ۱۰۰\pi t$

۲) $x = ۲\cos ۱۰۰\pi t$

۳) $x = \cos ۲۰۰\pi t$

۴) $x = ۲\cos ۲۰۰\pi t$

نمودار مکان ـ زمان نوسانگر هماهنگ ساده‌ای مطابق شکل زیر است. نوسانگر در ثانیهٔ اول حرکت، چند ثانیه به صورت کندشونده حرکت کرده است؟



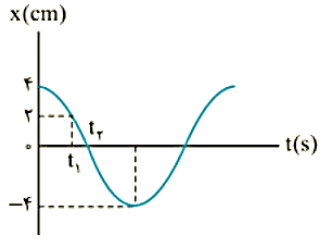
۱) ۰/۴

۲) ۰/۶

۳) ۰/۳

۴) ۰/۲

نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل مقابل است $(t_۲ - t_۱ = ۰/۱s)$. معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگر در SI کدام است؟



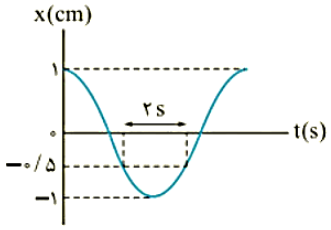
۱) $x = ۰/۰۴\cos\frac{۵\pi}{۳}t$

۲) $x = ۰/۰۴\cos\frac{۵\pi}{۶}t$

۳) $x = ۰/۰۸\cos\frac{۵\pi}{۳}t$

۴) $x = ۰/۰۸\cos\frac{۵\pi}{۶}t$

نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل روبه‌رو است. معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگر در SI کدام است؟



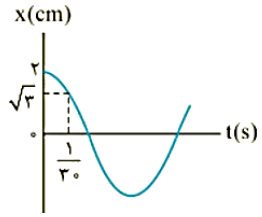
۱) $x = ۱۰^{-۲}\cos\frac{۲\pi}{۳}t$

۲) $x = ۵\times۱۰^{-۲}\cos\frac{\pi}{۳}t$

۳) $x = ۱۰^{-۲}\cos\frac{\pi}{۳}t$

۴) $x = ۵\times۱۰^{-۲}\cos\frac{۲\pi}{۳}t$

نمودار مکان ـ زمان نوسانگری مطابق شکل روبه‌رو است. دورهٔ تناوب نوسانگر چند ثانیه است؟



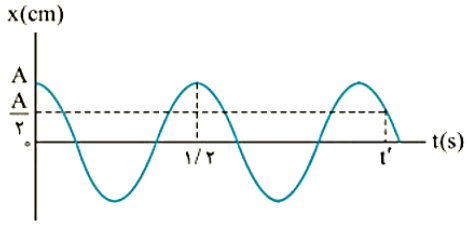
۱) ۰/۱

۲) ۰/۲

۳) ۰/۳

۴) ۰/۴

نمودار مکان ـ زمان ذره‌ای که روی محور x حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد، مطابق شکل روبه‌رو است. t' چند ثانیه است؟



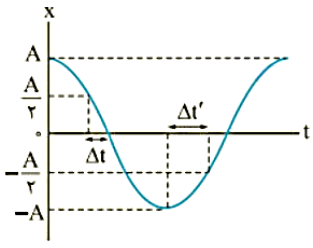
۱) ۲/۵

۲) ۲/۶

۳) ۲/۸

۴) ۳

شکل مقابل، نمودار مکان ـ زمان یک نوسانگر هماهنگ ساده است. نسبت $\frac{\Delta t'}{\Delta t}$ کدام است؟



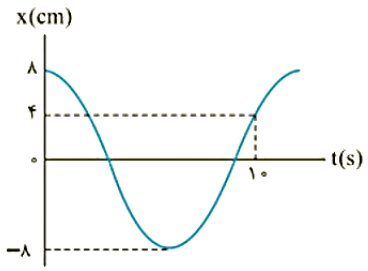
۱) $\frac{۱}{۲}$

۲) ۱

۳) $\frac{۳}{۲}$

۴) ۲

نمودار مکان ـ زمان نوسانگر هماهنگ ساده‌ای مطابق شکل روبه‌رو است. در کدام لحظه برحسب ثانیه، برای سومین بار فاصلهٔ نوسانگر از مبدأ مکان $4\sqrt{2}$ cm است؟



۱) ۵/۵
۲) ۷/۵
۳) ۱۰/۵
۴) ۱۳/۵

بیشینه تندی و سرعت در حرکت نوسانی

- در حرکت نوسانی هماهنگ ساده، در نقاط بازگشت، سرعت برابر با صفر و در مرکز نوسان سرعت، بیشینه می باشد.
- بنابراین:
  - زمانی که نوسانگر به سمت مرکز نوسان حرکت می کند، حرکت آن تند شونده است.
  - زمانی که نوسانگر به سمت نقاط بازگشت حرکت می کند، حرکت آن کند شونده می باشد.

  - دقت کنید که جهت حرکت، علامت سرعت را تعیین می کند.
    - ❖ هرگاه جسم نوسانگر به سمت راست حرکت کند، علامت سرعت مثبت و اگر به سمت چپ حرکت کند، علامت سرعت آن منفی می باشد.
    - ❖ بنابراین در مرکز نوسان، تندی بیشینه است، اما سرعت می تواند مثبت یا منفی باشد.
    - ❖ اگر نوسانگر در مرکز نوسان قرار داشته باشد و در حال حرکت به سمت چپ باشد، بزرگی سرعت بیشینه با تندی بیشینه برابر است اما علامت آن منفی است.
    - ❖ اگر نوسانگر در مرکز نوسان قرار داشته باشد و در حال حرکت به سمت راست باشد، بزرگی سرعت بیشینه با تندی بیشینه برابر است اما علامت آن مثبت است.

معادله سرعت یا تندی بیشینه

- در حرکت نوسانی هماهنگ ساده، میزان تندی بیشینه از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_{\max} = \pm A\omega$$

- تندی برابر با قدر مطلق مقدار فوق است.
  - اگر جسم در مرکز نوسان به سمت چپ حرکت کند، سرعت بیشینه آن منفی است.
  - اگر جسم در مرکز نوسان به سمت راست حرکت کند، سرعت بیشینه آن مثبت است.

- می دانیم رابطه معادله حرکت نوسانی هماهنگ ساده به صورت زیر است:

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

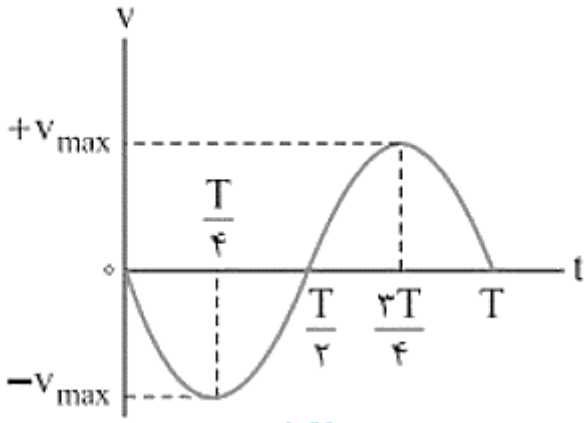
- بنابراین اگر معادله حرکت نوسانی داده شده بود، برای به دست آوردن سرعت بیشینه، کافیست، عدد پشت کسینوس یعنی A (دامنه) را در عدد پشت t یعنی ω (بسامد زاویه ای) ضرب کنید.
- اگر نمودار مکان ـ زمان حرکت نوسانی هماهنگ ساده داده شده بود، نقطه ماکسیمم نشان دهنده مقدار A یا دامنه می باشد.
- از طرفی با محاسبه دوره تناوب از روی نمودار، می توان بسامد زاویه ای یا ω را محاسبه کرد:

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

- با محاسبه دو کمیت فوق، می توان به راحتی، سرعت یا تندی بیشینه را به دست آورد.
- ب

نمودار سرعت زمان در حرکت نوسانی هماهنگ ساده

- سرعت نوسانگر هماهنگ ساده هم به طور دوره ای تغییر می کند.
- معادله حرکت نوسانگر به صورت $x = A\cos\omega t$ می باشد.
- نوسانگر در مبدأ زمان در مکان $x = A$ قرار دارد، بنابراین سرعت اولیه آن صفر است.
- نوسانگر در خلاف جهت محور مکان به سمت نقطه مرکز نوسان حرکت می کند (به سمت چپ) بنابراین سرعت آن منفی بوده و به مقدار ماکسیمم (بیشینه) خود در مرکز نوسان نزدیک می شود.
- مدت زمان برای رسیدن به سرعت یا تندی بیشینه، معادل یک چهارم دور تناوب می باشد.



در یک حرکت نوسانی روی خط راست، در مدت $\frac{T}{2}$، سرعت به ترتیب از راست به چپ، حداقل چند بار صفر و چند بار بیشینه می‌شود؟

۱) صفر و ۱ ۲) ۱ و ۱ ۳) ۱ و صفر ۴) ۲ و ۲ *(سراسری تجربی قدیمی)*

نوسانگر ساده‌ای حرکت خود را از نقطهٔ $x = +A$ و رو به مبدأ آغاز می‌کند. از خود لحظهٔ $t = 0$ تا لحظه‌ای که فاصلهٔ نوسانگر تا نقطهٔ تعادل برای نوزدهمین بار به نصف دامنهٔ نوسان می‌رسد، تندی نوسانگر به ترتیب و از راست به چپ، چند بار صفر و چند بار بیشینه می‌شود؟

۱) ۱۷ و ۱۸ ۲) ۱۸ و ۱۷ ۳) ۹ و ۱۰ ۴) ۱۰ و ۹

نوسانگر ساده‌ای روی پاره‌خطی به طول ۴ سانتی‌متر نوسان می‌کند و در هر ثانیه یک بار طول این پاره‌خط را طی می‌کند. بیشینهٔ سرعت این نوسانگر چند سانتی‌متر بر ثانیه است؟ *(سراسری تجربی ۹۸)*

۱) $0/02\pi$ ۲) $0/04\pi$ ۳) 2π ۴) 4π

پیستون یک موتور بنزینی با آهنگ ۳۶۰۰ نوسان در دقیقه، حرکت هماهنگ ساده می‌کند. اگر بیشترین فاصلهٔ پیستون از وضع تعادل ۸ cm باشد، بیشینهٔ تندی آن چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۰/۰۸ ۲) $9/6\pi$ ۳) 120π ۴) ۲۸۸

نوسانگر هماهنگ ساده‌ای با بسامد ۲ Hz نوسان می‌کند. حداقل زمان لازم برای آن‌که تندی نوسانگر از صفر به بیشینه برسد، چند ثانیه است؟

۱) $\frac{۱}{۸}$ ۲) $\frac{۱}{۴}$ ۳) $\frac{۱}{۲}$ ۴) ۱

معادلهٔ سرعت ـ زمان نوسانگری در SI به صورت $v = -۲\pi \sin \pi t$ است. دامنهٔ حرکت این نوسانگر چند سانتی‌متر است؟

۱) ۲ ۲) ۲π ۳) ۲۰۰ ۴) ۲۰۰π

معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگری در SI به صورت $x = ۲\cos \pi t$ است. سرعت نوسانگر در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۲}$ s چند متر بر ثانیه است؟

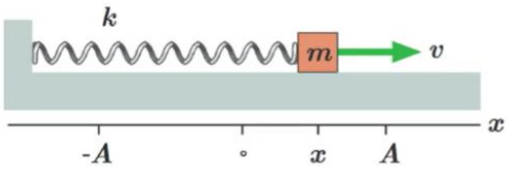
۱) صفر ۲) ۲ ۳) ۲π ۴) -۲π

جسمی به جرم ۵۰۰ g، روی پاره‌خطی به طول ۲۰ cm حرکت هماهنگ ساده می‌کند و در هر دقیقه ۱۲۰ نوسان کامل انجام می‌دهد. بزرگی تکانهٔ جسم در وسط مسیر، تقریباً چند کیلوگرم‌متر بر ثانیه است؟ ($\pi \simeq ۳$)

۱) ۰/۱۵ ۲) ۰/۳ ۳) ۰/۶ ۴) ۱/۲

سامانه جرم ـ فنر

- سیستم جرم ـ فنر یکی از انواع سامانه های حرکت نوسانی است.
- در این سامانه، یک وزنه با جرم m به یک فنر با ثابت فنر k متصل است.
- وزنه را مقداری می کشیم و فنر را از حالت تعادل خارج می کنیم و سپس رها می کنیم.
- با این کار، فنر مطابق قانون هوک، در اثر نیروی کشسانی می خواهد به حالت اول خودش برگردد.($F = kx$)
- در نتیجه فنر حول نقطه تعادل (طول اولیه) نوسان می کند.



- بسامد زاویه ای فنر از رابطه زیر به دست می آید:

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

- در این رابطه:
  - k ثابت فنر
  - m جرم وزنه متصل به فنر است.

عوامل موثر در بسامد زاویه ای، بسامد و دوره تناوب در سامانه جرم ـ فنر

- با توجه به رابطه بسامد زاویه ای در سامانه جرم ـ فنر:

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

- مشخص می شود که:
  - بسامد زاویه ای، بسامد یا فراکانس معمولی و دوره تناوب در فنر، به دامنه نوسان فنر وابسته نیست.
  - بلکه به مشخصات خود فنر یعنی به ثابت فنر (جنس فنر) و به جرم وزنه متصل به فنر وابسته است.

رابطه دوره تناوب و بسامد در سامانه جرم ـ فنر

- در هر حرکت نوسانی هماهنگ ساده می دانیم رابطه بین بسامد زاویه ای و دوره تناوب و بسامد به صورت زیر است:

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

- از طرفی در سامانه جرم ـ فنر، برای بسامد زاویه ای داریم:

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

- پس، برای دوره تناوب در سامانه جرم ـ فنر می توان نوشت:

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

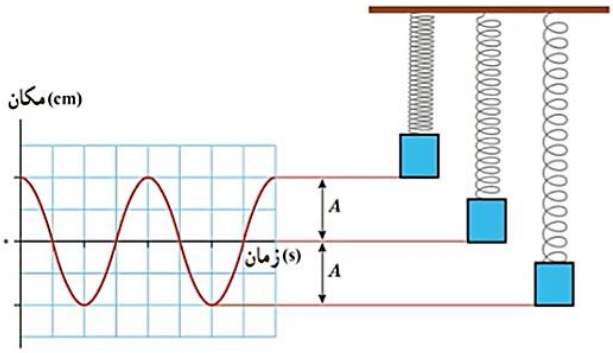
- و برای بسامد، در سامانه جرم ـ فنر می توان نوشت:

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

سامانه جرم ـ فنر قائم

- اگر یک فنر را به صورت قائم به سقف متصل کنیم.
- اگر به سر آزاد آن، وزنه ای متصل کنیم و رها کنیم، فنر شروع به حرکت نوسانی حول یک نقطه تعادل می کند.
- در نقطه تعادل (یا همان مرکز نوسان)، نیروی کشسانی فنر با نیروی وزن وزنه برابر است.

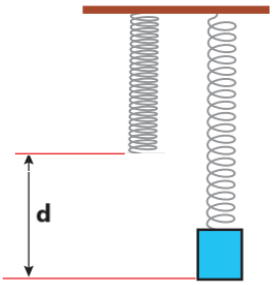
دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷



- اگر در ابتدا طول فنر قائم سبک بدون وزنه برابر با L_1 باشد.
- و اگر وزنه را به فنر سبک قائم متصل کنیم، و دست خود را زیر وزنه قرار دهیم و به آرامی دست خود را پایین بیاوریم تا جایی که فنر و وزنه ساکن باقی بمانند، به نقطه ای می رسیم که نیروی کشسانی فنر و نیروی وزن وزنه با هم برابر هستند، در این حالت، طول فنر را L_2 در نظر می گیریم.
- اختلاف طول در این دو حالت را d می نامیم:

$$d = L_2 - L_1$$

- این نقطه یا حالت که نیروی وزن فنر و نیروی کشسانی فنر با هم برابر هستند، دقیقاً مرکز نوسان است.



- بنابراین در مرکز نوسان برآیند نیروهای وارد بر فنر صفر است:

در مرکز نوسان : $F = 0 \Rightarrow F_e - mg = 0 \Rightarrow F_e = mg \Rightarrow Kd = mg \Rightarrow \frac{m}{k} = \frac{d}{g}$

- در مورد سامانه جرم ـ فنر، برای بسامد زاویه ای داریم:

$$\boldsymbol{\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{g}{d}}}$$

- در مورد سامانه جرم ـ فنر برای دوره تناوب داریم:

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

- حال به جای عبارت زیر رادیکال، مساوی آن را از رابطه فوق قرار می دهیم:

$$\boldsymbol{T = 2\pi\sqrt{\frac{d}{g}}}$$

وزنه‌ای را از انتهای فنر سبکی آویزان می‌کنیم. در حالتی که وزنه به حال تعادل قرار می‌گیرد و می‌ایستد، طول فنر ۱۰ cm افزایش یافته است. وزنه را از این وضعیت کمی پایین کشیده و رها می‌کنیم تا در راستای قائم به نوسان درآید. دورهٔ نوسان چند ثانیه است؟ ($g = ۱۰\ m/s^۲$)

۱) $\frac{۱}{۵}$ ۲) $\frac{۲}{۵}$ ۳) $\frac{\pi}{۵}$ ۴) $\frac{۲\pi}{۵}$ *(سراسری ریاضی ۹۰)*

جسمی به جرم $400\,g$ به فنری با ثابت $k = 360\,N/m$ بسته شده است و روی سطح افقی بدون اصطکاکی حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. این جسم در مدت یک ثانیه چند نوسان انجام می‌دهد؟ $(\pi = 3)$ *(سراسری ریاضی خارج ۹۸)*

۱) ۵ ۲) ۱۵ ۳) ۳۰ ۴) ۶۰

سامانهٔ جرم ـ فنری در مدت ۱ دقیقه و ۲۰ ثانیه، N نوسان هماهنگ ساده انجام می‌دهد. با همان فنر، جرم وزنه را چند درصد و چگونه تغییر دهیم تا در مدت $40\,s$، سامانهٔ جدید $\frac{5}{12}N$ نوسان هماهنگ ساده انجام دهد؟

۱) ۲۰ درصد افزایش ۲) ۲۰ درصد کاهش ۳) ۴۴ درصد افزایش ۴) ۴۴ درصد کاهش

وزنه‌هایی به جرم m_1 و m_2 به ترتیب به فنرهایی با ثابت k و $3k$ متصل هستند و دوره‌های نوسان کم‌دامنهٔ آن‌ها به ترتیب T_1 و T_2 است. اگر نیمی از وزنهٔ m_1 را از آن جدا و به وزنهٔ m_2 اضافه کنیم، دورهٔ نوسان‌های کم‌دامنهٔ آن‌ها با یکدیگر برابر می‌شود. نسبت $\frac{T_1}{T_2}$ کدام است؟

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

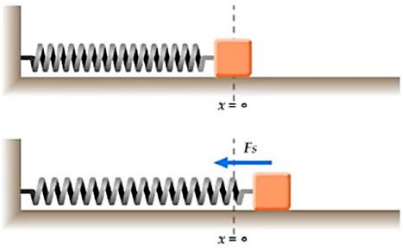
دستگاه وزنه ـ فنری روی سطح افقی بدون اصطکاکی در حال نوسان است. اگر حداقل و حداکثر طول فنر در زمان نوسان $30\,cm$ و $50\,cm$ و تندی وزنه در هنگام عبور از وضع تعادل $40\,cm/s$ باشد، معادلهٔ حرکت دستگاه در SI کدام می‌تواند باشد؟

۱) $x = 0/1\cos 4t$ ۲) $x = 0/1\cos 2t$ ۳) $x = 0/4\cos 2t$ ۴) $x = 0/4\cos 4t$

وزنه‌ای به جرم $400\,g$ به فنر سبکی آویخته شده است. اگر علاوه بر وزنهٔ اول، وزنهٔ دیگری به جرم $200\,g$ را به انتهای فنر آویزان کنیم، طول فنر (در حالت تعادل وزنه‌ها) به اندازهٔ $2\,cm$ زیادتر می‌شود. اگر وزنه‌ها را $3\,cm$ از وضع تعادل پایین بکشیم و سپس رها کنیم، دورهٔ نوسان آن‌ها چند ثانیه می‌شود؟ $(g = 10\frac{m}{s^2}, \pi^2 = 10)$

۱) $0/2\sqrt{2}$ ۲) $0/4$ ۳) $0/2\sqrt{6}$ ۴) ۴

شتاب و نیروی وارد بر نوسانگر



- زمانی که یک وزنه به فنر متصل است و فنر از حالت تعادل خارج می شود، نوسان هماهنگ ساده در آن ایجاد می شود.
- در این حالت، نیروی کشسانی فنر همیشه در خلاف جهت جابه جایی نوسانگر از وضع تعادل است.
- به عبارتی، علامت های F_e و x همواره مخالف یکدیگر هستند.
- در مورد نیروی کشسانی فنر، قانون هوک به شکل زیر استفاده می شود:

$$\boldsymbol{F_e = -kx}$$

- در مورد فنر، می دانیم، بسامد زاویه ای از رابطه زیر به دست می آید:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow k = m\omega^2 \Rightarrow \boldsymbol{F_e = -m\omega^2 x}$$

- رابطه فوق را می توان برای همه نوسانگرها استفاده کرد.

نیروی بیشینه در حرکت نوسانی هماهنگ ساده

- با توجه به رابطه نیروی کشسانی فنر (قانون هوک) در فنر، مشخص می شود که بزرگی نیرو با x (فاصله از مرکز نوسان) رابطه مستقیم دارد.
- بنابراین نیروی وارد بر نوسانگر در مرکز نوسان ($x = 0$) صفر می باشد.
- و بزرگی نیروی در نقاط بازگشت ($x = \pm A$) ماکسیمم است.
- نتیجه اینکه برای نیروی بیشینه می توان نوشت:

$$\boldsymbol{F_{max} = kA}$$

شتاب در هر نقطه از حرکت نوسانی هماهنگ ساده

- نیروی وارد بر یک نوسانگر هماهنگ ساده از رابطه زیر به دست می آید:

$$\boldsymbol{F_e = -m\omega^2 x}$$

- از طرفی می دانیم، نیروی وارد بر یک جسم در حال حرکت، از رابطه زیر به دست می آید:

$$F = ma$$

- با تلفیق دو رابطه فوق، برای شتاب نوسانگر در حرکت هماهنگ ساده، رابطه زیر به دست می آید:

$$\boldsymbol{a = -\omega^2 x}$$

- از رابطه فوق، می توان شتاب را در هر نقطه از مسیر نوسانگر در حرکت هماهنگ ساده محاسبه کرد.

شتاب کمینه و بیشینیه در حرکت نوسانی هماهنگ ساده

- با توجه به رابطه شتاب:

$$\boldsymbol{a = -\omega^2 x}$$

- چند نکته مهم قابل نتیجه گیری است:
  - علامت شتاب همواره با علامت مکان مخالف است. یعنی اگر نوسانگر در سمت راست مرکز نوسان بود، علامت شتاب منفی و اگر در سمت چپ بود، علامت شتاب مثبت است.

- قدر مطلق شتاب با فاصله از مرکز نوسان متناسب است.

$$|a| \propto |x|$$

- بزرگی شتاب در مرکز نوسان صفر است، زیرا $x = 0$ می باشد.
- بزرگی شتاب در نقاط بازگشت، بیشینه است. زیرا در نقاط بازگشت، مکان ماکسیمم بوده و $|x| = A$ می باشد.
- بنابراین برای شتاب بیشینه می توان رابطه زیر را نوشت:

$$a_{max} = A\omega^2$$

معادلهٔ نیرو ـ مکان نوسانگر ساده‌ای در SI، به صورت $F = -\pi^2 y$ است. اگر جرم نوسانگر ۱۰ گرم باشد، این نوسانگر در هر دقیقه چند نوسان کامل انجام می‌دهد؟ *(سراسری ریاضی ۸۸)*

۱) ۱۵۰ ۲) ۳۰۰ ۳) ۲۵۰ ۴) ۲۰۰

رابطه شتاب بیشینه و سرعت بیشینه نوسانگر

- می دانیم سرعت بیشینه نوسانگر در حرکت هماهنگ ساده در مرکز نوسان وجود دارد و بزرگی آن از رابطه زیر به دست می آید:

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

- همچنین، شتاب بیشینه نوسانگر در حرکت هماهنگ ساده در نقاط بازگشت وجود دارد و بزرگی آن از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$a_{max} = A\omega^2$$

- نتیجه کلی اینکه با تلفیق دو رابطه فوق، می توان به رابطه زیر رسید:

$$\frac{a_{max}}{V_{max}} = \frac{A\omega^2}{A\omega} = \omega \Rightarrow a_{max} = \omega . v_{max}$$

- رابطه فوق نشان می دهد که نسبت شتاب ماکسیمم به سرعت ماکسیمم برابر با بسامد زاویه ای می باشد.

بیشینهٔ شتاب یک نوسانگر وزنه ـ فنر $5\ m/s^2$ و بیشینهٔ سرعت آن $0/5\ m/s$ است. دورهٔ نوسان نوسانگر چند ثانیه است؟

۱) $\frac{\pi}{10}$ ۲) $\frac{\pi}{5}$ ۳) ۰/۲ ۴) ۰/۱

معادله شتاب ـ زمان در حرکت نوسانی هماهنگ ساده

- می دانیم معادله حرکت نوسانگر به صورت زیر است:

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

- از طرفی می دانیم، شتاب در حرکت نوسانی هماهنگ ساده از رابطه زیر به دست می آید:

$$a = -\omega^2 x$$

- به جای x در رابطه فوق، عبارت مساوی آن را از معادله مکان زمان قرار می دهیم:

$$a = -\omega^2 A\cos\omega t$$

- معادله فوق، معادله شتاب ـ زمان در حرکت نوسانی می باشد.
- این معادله نشان می دهد، که همانند معادله مکان ـ زمان، معادله شتاب ـ زمان هم نوعی تابع کسینوسی است.

- می توان به جای عبارت ωA^2 در عبارت فوق، شتاب ماکسیمم را قرار داد:

$$a_{max} = A\omega^2 \Rightarrow \boldsymbol{a = -a_{max}\cos\omega t}$$

معادله نیرو ـ زمان در حرکت نوسانی هماهنگ ساده

- می دانیم معادله حرکت نوسانگر به صورت زیر است:

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

- از طرفی می دانیم، نیرو در حرکت نوسانی هماهنگ ساده از رابطه زیر به دست می آید:

$$F = -kx$$

- به جای x در رابطه فوق، عبارت مساوی آن را از معادله مکان ـ زمان قرار می دهیم:

$$\boldsymbol{F = -kA\cos\omega t}$$

- از طرفی، می دانیم بزرگی نیروی بیشینه در حرکت نوسانی از رابطه زیر به دست می آید:

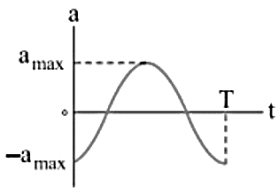
$$F_{max} = kA$$

- با تلفیق دو رابطه فوق داریم:

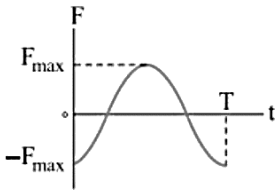
$$\boldsymbol{F = -F_{max}cos\omega t}$$

نمودارهای شتاب و نیرو بر حسب زمان و مکان

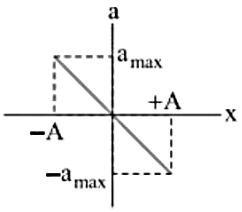
- رابطه شتاب با زمان و رابطه نیرو با زمان، یک رابطه کسینوسی است.
- اما رابطه شتاب با مکان و رابطه نیرو با مکان یک رابطه خطی با شیب منفی می باشد.



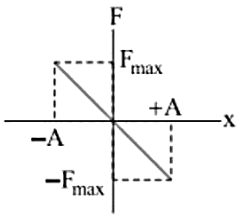
$\boldsymbol{a = -a_{max}\cos\omega t}$



$\boldsymbol{F = -F_{max}cos\omega t}$



$\boldsymbol{a = -\omega^2 x}$



$\boldsymbol{F_e = -kx}$

نسبت شتاب و نیرو در هر نقطه به شتاب و نیروی بیشینه در حرکت نوسانی

- به جدول زیر توجه کنید:

کمیت	روابط	
شتاب	$a = -\omega^2 x$	$a_{max} = \omega^2 A$
نیرو	$F = -kx$	$F_{max} = kA$

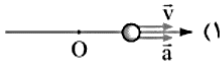
- با توجه به داده های جدول فوق، متوجه می شویم، نسبت شتاب در یک نقطه مشخص به شتاب بیشینه و یا نسبت نیرو در آن نقطه به نیروی بیشنیه، برابر است با:

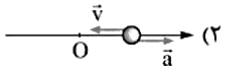
$$\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{F_{max}}} = \frac{\boldsymbol{a}}{\boldsymbol{a_{max}}} = -\frac{\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{A}}$$

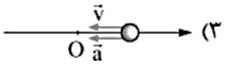
معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگری در SI به صورت $x = A\cos\pi t$ است. در چه لحظه‌ای برای اولین بار شتاب نوسانگر $+\frac{1}{2}$ بیشینهٔ شتاب می‌شود؟

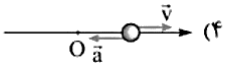
۱) $\frac{1}{6}$ ۲) $\frac{1}{3}$ ۳) $\frac{2}{3}$ ۴) $\frac{3}{4}$

کدام گزینه، جهت بردارهای سرعت و شتاب یک نوسانگر هماهنگ ساده را در لحظه‌ای که حرکت آن به صورت کندشونده است، به درستی نشان می‌دهد؟ (در نقطهٔ O، نوسانگر در وضع تعادل قرار می‌گیرد.)

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

در حرکت یک نوسانگر ساده، در لحظه‌ای که سرعت نوسانگر از مثبت به منفی تغییر علامت می‌دهد، شتاب نوسانگر چگونه است؟ *(سراسری ریاضی خارج ۹۰)*

۱) مثبت است.
۲) منفی است.
۳) از مثبت به منفی تغییر علامت می‌دهد.
۴) از منفی به مثبت تغییر علامت می‌دهد.

معادلهٔ حرکت نوسانگر هماهنگ ساده‌ای در SI به صورت $x = A\cos\omega t$ است. در لحظه‌ای که شناسهٔ تابع کسینوس $\frac{۴\pi}{۳}$ rad است، علامت شتاب ..... و اندازهٔ آن در حال ..... است.

۱) مثبت ـ افزایش
۲) مثبت ـ کاهش
۳) منفی ـ افزایش
۴) منفی ـ کاهش

شتاب یک نوسانگر ساده به‌طور مرتب، در هر ثانیه ۸ بار صفر می‌شود. دورهٔ این نوسانگر چند ثانیه است؟ *(سراسری ریاضی ۸۲)*

۱) ۴
۲) ۸
۳) $\frac{۱}{۴}$
۴) $\frac{۱}{۸}$

معادلهٔ مکان ـ زمان نوسانگری در SI به صورت $x = A\cos\frac{۵}{۸}\pi t$ است. بین دو لحظهٔ $t = ۰$ و $t = ۲/۴\ s$، چند ثانیه شتاب و سرعت نوسانگر هم‌جهت‌اند؟

۱) ۰/۴
۲) ۰/۸
۳) ۱/۶
۴) ۲

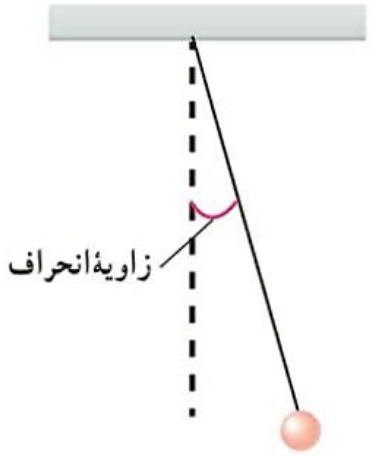
معادلهٔ شتاب ـ زمان نوسانگری در SI به صورت $a = -۰/۱۶\pi^۲\cos\pi t$ است. مسافتی که نوسانگر در ثانیهٔ اول حرکتش طی می‌کند چند سانتی‌متر است؟

۱) ۱۶
۲) ۳۲
۳) ۴۰
۴) ۸۰

آونگ ساده

- آونگ ساده شامل یک نخ به طور ثابت L باشد که به انتهای آن وزنه کوچکی به جرم m متصل شده است.

- اگر آونگ را از امتداد قائم منحرف و سپس رها کنیم، شروع به نوسان می کند.
- اگر زاویه انحراف آونگ از وضع تعادل کوچک باشد، مسیر تقریبی گلوله به شکل خط راست است.
  - در این حالت (یعنی زمانی که زاویه انحراف کوچک بوده و مسیر خط راست باشد)، حرکت آونگ ساده از نوع هماهنگ ساده می باشد.



- بنابراین دقت کنید اگر زاویه انحراف بزرگ باشد، مسیر گلوله یا وزنه خط راست نیست و حرکت از نوع هماهنگ ساده نخواهد بود.

رابطه بسامد زاویه ای، دوره تناوب و بسامد در آونگ ساده

- در آونگ ساده، بسامد زاویه ای از رابطه زیر به دست می آید:

$$\boldsymbol{\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}}$$

- با توجه به رابطه بسامد زاویه ای و دوره تناوب، داریم:

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

- همچنین می دانیم، بسامد زاویه ای و بسامد معمولی با هم رابطه زیر را دارند:

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow \boldsymbol{f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}}$$

عوامل موثر در آونگ ساده

$$\boldsymbol{\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}} \qquad \boldsymbol{T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}} \qquad \boldsymbol{f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}}$$

- با توجه به رابطه فوق، مشخص می شود که دوره تناوب یک آونگ ساده، به دو عامل وابسته است:
  - طول آونگ یا L
  - شتاب گرانش در محل آونگ یا g
- بنابراین دوره تناوب یک آونگ ساده (و همچنین بسامد آن) مستقل از جرم و دامنه نوسان آونگ است.

آونگ در آسانسور

- اگر آونگ در یک دستگاه متحرک باشد، در روابط مربوط به آن، به جای شتاب گرانش یا g از شتاب ظاهری یا g' استفاده می کنیم.
- شتاب ظاهری یا g' را می توانید از رابطه زیر به دست آورید:

$$g' = g \pm \pm a$$

- در رابطه فوق:
  - g شتاب گرانش در محل آونگ می باشد.
  - a شتاب دستگاه متحرک (برای مثال آسانسور) می باشد.
  - دو تا علامت ± را به صورت زیر تعیین علامت کنید:
    - ❖ یکی از این علامت ها، جهت حرکت آسانسور است: اگر به سمت بالا حرکت می کرد، + و اگر به سمت پایین حرکت می کرد منفی می گیرد.
    - ❖ علامت دیگر، نوع حرکت را نشان می دهد، اگر حرکت تندشونده بود، مثبت و اگر کند شوند بود، منفی می گیرد.

- بنابراین، برای دوره تناوب یک آونگ که در یک آسانسور قرار دارد می توان نوشت:

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

- برای مثال:
  - اگر آونگ درون آسانسوری قرار داشته باشد که به سمت بالا شروع به حرکت کند، یک علامت مثبت برای جهت حرکت می گیرد و یک مثبت هم برای تند شونده بودن می گیرد، بنابراین داریم:

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

  - و اگر آونگ درون آسانسوری باشد که به سمت پایین حرکت می کند و شروع به حرکت کند، برای حرکت به سمت پایین یک منفی می گیرد و برای حرکت تندشونده هم یک مثبت می گیرد، پس داریم:

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

آونگی را به سقف آسانسوری آویخته‌ایم. وقتی که آسانسور ساکن است، دوره‌اش T است. اگر آسانسور با شتاب $\frac{g}{2}$ رو به پایین شروع به حرکت کند، دورهٔ آن چند T می‌شود؟ *(سراسری ریاضی قدیمی)*

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

آونگ ساده‌ای به طول یک متر، در محلی که شتاب گرانش زمین در SI برابر $g = \pi^2$ است، نوساناتی کم‌دامنه انجام می‌دهد. گلولهٔ این آونگ در هر دقیقه، چند نوسان کامل انجام می‌دهد؟ *(سراسری ریاضی ۹۱)*

۱) ۳۰ ۲) ۴۰ ۳) ۶۰ ۴) ۱۲۰

آونگ ساده‌ای به طول ۸۰ cm با دامنهٔ کم در حال نوسان است. طول آونگ را چگونه تغییر دهیم تا دورهٔ نوسان آن نصف شود؟

۱) ۶۰ سانتی‌متر کاهش دهیم.
۲) ۶۰ سانتی‌متر افزایش دهیم.
۳) ۲۰ سانتی‌متر کاهش دهیم.
۴) ۲۰ سانتی‌متر افزایش دهیم.

(سراسری ریاضی ۹۸)

دورهٔ نوسان آونگ ساده‌ای در یک مکان معین، برابر ۲ ثانیه است و در مدت ۲/۶ دقیقه N نوسان کامل انجام می‌دهد. طول آونگ را چند درصد کاهش یا افزایش دهیم تا در همان مدت و در همان مکان N − ۱۸ نوسان کامل انجام دهد؟ *(سراسری ریاضی ۹۴)*

۱) ۶۹ درصد کاهش
۲) ۶۹ درصد افزایش
۳) ۳۱ درصد کاهش
۴) ۳۱ درصد افزایش

رابطهٔ شتاب و جابه‌جایی از وضع تعادل برای آونگ ساده‌ای در نوسانات کم‌دامنه و در SI، به صورت $a = -\pi^2 x$ است. اگر $g = \pi^2\ m/s^2$ فرض شود. طول آونگ چند متر است؟ *(سراسری ریاضی خارج ۸۸، با تغییر)*

۱) ۰/۵
۲) ۱
۳) ۲
۴) $\sqrt{10}$

بیشینهٔ تندی آونگ ساده‌ای در سطح زمین ۵ m/s و بیشینهٔ شتاب آن ۱۰ m/s^2 است. طول آونگ تقریباً چند متر است؟

۱) ۰/۴
۲) ۲/۵
۳) ۴
۴) ۴۰

مثال:

آونگ ساده ای به طور ۵۰ سانتی متر، در آسانسوری قرار دارد که با شتاب ۲ متر بر مجذور ثانیه به سمت بالا شروع به حرکت می کند. دوره تناوب این آونگ را محاسبه کنید. ($g = 10\ m/s^2$)

دورهٔ حرکت نوسانی کم‌دامنهٔ یک آونگ ساده به طول ۱m در سطح کرهٔ مریخ، چند ثانیه است؟ (وزن اجسام بر سطح کرهٔ مریخ ۰/۴ وزنشان بر سطح زمین است و شتاب گرانش در سطح زمین ۱۰ m/s^2 است.)

۱) ۱/۲۵
۲) ۱/۵۷
۳) ۲
۴) ۳/۱۴

انرژی در حرکت هماهنگ ساده

- دو نوع انرژی در اجسام وجود دارد:
  - **انرژی جنبشی**
    - ❖ ناشی از سرعت و حرکت اجسام است.
    - ❖ این انرژی به جهت حرکت جسم وابسته نیست
    - ❖ رابطه انرژی جنبشی به صورت زیر است:

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$

  - **انرژی پتانسیل**
    - ❖ این انرژی ناشی از موقعیت جسم است.
    - ❖ این انرژی قابلیت ذخیره شدن در اجسام را دارد.
    - ❖ رابطه آن به صورت زیر است: (انرژی پتانسیل کشسانی در فنر)

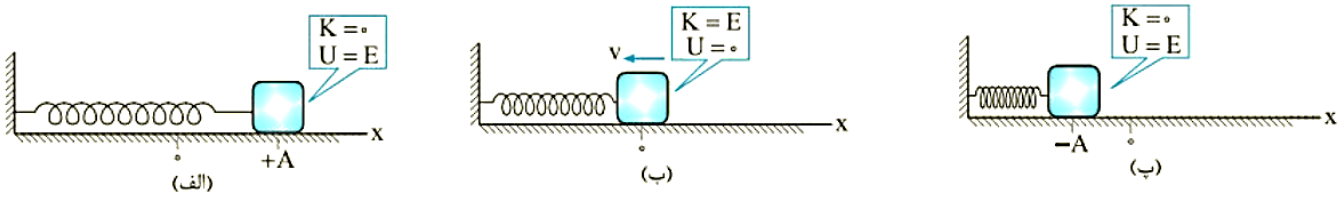
$$U = \frac{1}{2}kx^2$$

  - به مجموع دو انرژی جنبشی و پتانسیل، انرژی مکانیکی گفته می شود.

انرژی جنشی و پتانسیل در نقاط مختلف حرکت نوسانی

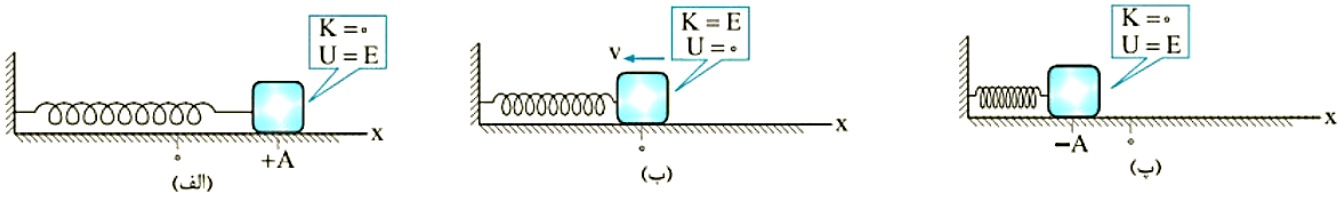
- انرژی جنبشی:
  - در حرکت نوسانی، در مرکز نوسان، سرعت یا تندی ماکسیمم است، بنابراین، انرژی جنبشی در مرکز نوسان بیشینه است.
  - در دو نقطه بازگشت راست و چپ، سرعت نوسانگر صفر است، بنابراین، انرژی جنبشی در دو نقطه بازگشت، صفر است.
  - انرژی جنبشی بیشینه برابر است با:

$$K_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$$



- انرژی پتانسیل:
  - در مرکز نوسان، $x = 0$ است، بنابراین انرژی پتانسیل نوسانگر صفر می باشد.
  - با نزدیک شدن به نقاط بازگشت راست و چپ، انرژی پتانسیل افزایش می یابد، به طوری که در دو نقطه بازگشت ($x = \pm A$) انرژی پتانسیل بیشینه است.
  - انرژی پتانسیل بیشینه برابر است با:

$$U_{max} = \frac{1}{2}kA^2$$



- به مجموع دو انرژی جنبشی و پتانسیل، انرژی مکانیکی گفته می شود.
- انرژی مکانیکی را با E نشان می دهیم.
- به طور کلی، اگر فرض کنیم پایستگی انرژی مکانیکی وجود دارد و اتلاف انرژی وجود ندارد، در هر نقطه از نوسان، انرژی مکانیکی ثابت بوده و برابر با مجموع دو انرژی جنبشی و پتانسیل است.
- بنابراین در نقطه وسط نوسان یعنی در مرکز نوسان:

$$E = K_{\max} + 0$$

- و در دو تا نقطه بازگشت:

$$E = 0 + U_{\max}$$

- نتیجه کلی اینکه:

$$\boldsymbol{E = K_{max} = U_{max} = \frac{1}{2}kA^2}$$

- بنابراین:
  - انرژی مکانیکی در همه نقاط نوسان ثابت است.
  - انرژی جنبشی در مرکز نوسان بیشینه و در دو طرف صفر است.
  - انرژی پتانسیل در دو نقطه بازگشت، بیشینه و در مرکز صفر است.
  - انرژی مکانیکی و انرژی پتانسیل بیشینه و انرژی جنبشی بیشینه با هم برابر هستند.
- برای انرژی مکانیکی رابطه زیر نوشته شد:

$$\boldsymbol{E = K_{max} = U_{max} = \frac{1}{2}kA^2}$$

- می دانیم:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow \boldsymbol{k = m\omega^2}$$

- در رابطه فوق، k ثابت فنر است.
- با جایگذاری این رابطه در انرژی مکانیکی داریم:

$$\boldsymbol{E = K_{max} = U_{max} = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2}$$

- می دانیم، بین بسامد زاویه ای و بسامد رابطه زیر وجود دارد:

$$\boldsymbol{\omega = 2\pi f}$$

- با جایگذاری این رابطه در رابطه انرژی مکانیکی داریم:

$$\boldsymbol{E = K_{max} = U_{max} = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = 2m\pi^2f^2A^2}$$

- این رابطه آخری نشان می دهد:
  - انرژی مکانیکی با جرم رابطه مستقیم دارد.
  - انرژی مکانیکی با مربع بسامد و دامنه رابطه مستقیم دارد.

دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷

- دقت کنید:
  - با اینکه رابطه فوق برای سامانه جرم ـ فنر اثبات شده است، اما برای کل حرکت نوسانی هماهنگ ساده (از جمله آونگ) استفاده می شود.

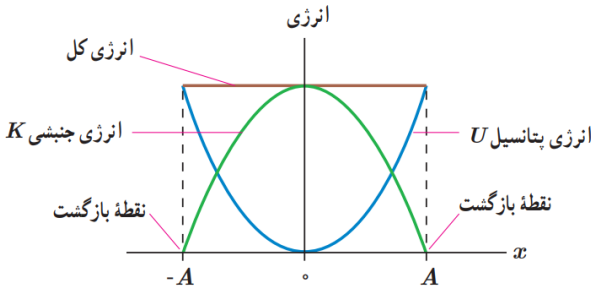
نوسانگری به انتهای فنر سبکی با ثابت $100\ N/m$ بسته شده و با دامنهٔ $4\ cm$ حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. انرژی جنبشی آن در لحظه‌ای که از مبدأ نوسان می‌گذرد، چند ژول است؟ *(سراسری ریاضی ۸۶)*

۱) ۰/۰۶ ۲) ۰/۰۸ ۳) ۰/۱۲ ۴) ۰/۱۶

نمودار تغییرات انرژی در حرکت هماهنگ ساده

- با توجه به رابطه انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی نوسانگر برحسب مکان، نمودار این انرژی ها برحسب مکان به شکل سهمی می باشد.
- اما انرژی مکانیکی مقدای ثابت است.

$$E = K_{max} = U_{max} = \frac{1}{2}kA^2$$

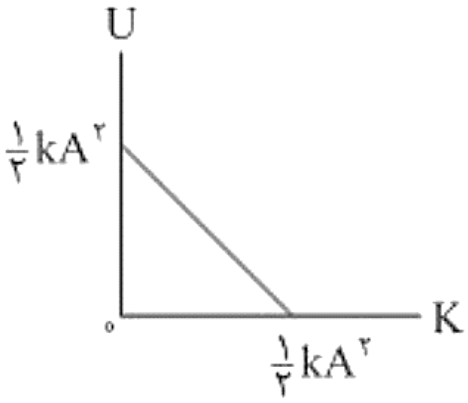


نمودار انرژی پتانسیل و جنبشی نسبت به هم

- اگر مجموع دو عدد ثابت باشد، نمودار تغییرات آن ها برحسب یکدیگر، به شکل یک خط راست است.
- بنابراین نمودار U – K نوسانگر مطابق شکل، خطی راست با شیب منفی یک است.

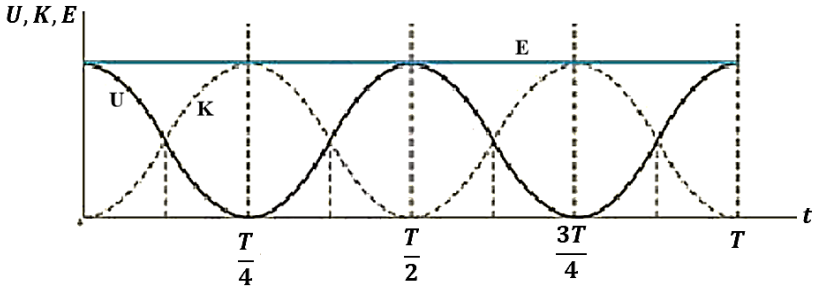
$$U + K = E \Rightarrow U = E - K \Rightarrow U = \frac{1}{2}kA^2 - K$$

- پس اگر نمودار U را برحسب K ترسیم کنیم، خطی با شیب 1- ایجاد می شود.



برابری انرژی پتانسیل و جنبشی نوسانگر

• اگر نوسانگر در مبدأ زمان از حال سکون از مکان $x = +A$ به حرکت در آمده باشد، نمودار تغییرات انرژی آن برحسب زمان مطابق شکل زیر است.



• مدت زمان معادل $\frac{T}{4}$ طول می کشد تا نوسانگر از یک انتهای مسیر به مرکز نوسان برسد و انرژی جنبشی آن از صفر به مقدار بیشینه و انرژی پتانسیل آن از مقدار بیشینه به صفر می رسد.

• نمودارهای U-t و K-t در مدت یک دوره، چهار بار یکدیگر را قطع می کنند. پس انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل نوسانگر در هر دوره چهار بار برابر می شوند.

• انرژی های پتانسیل و جنبشی نوسانگر پس از $\frac{T}{2}$ به مقادیر اولیه خود می رسند.

• بنابراین دوره تغییرات انرژی های پتانسیل و جنبشی نوسانگر، نصف دوره حرکت نوسانگر است.

$$T_U = T_K = \frac{T}{2}$$

محاسبه سرعت در هر نقطه از مسیر نوسانگر

• می دانیم در هر نقطه از مسیر، مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی برابر با انرژی مکانیکی است:

$$E = K + U \Rightarrow K = E - U \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 - \frac{1}{2}m\omega^2x^2$$

جهت یادآوری

• **در سامانه جرم ـ فنر $k = m\omega^2$ می باشد.**

• **انرژی مکانیکی در هر نقطه: $E = \frac{1}{2}kA^2$**

• **انرژی پتانسیل در هر نقطه: $U = \frac{1}{2}kx^2$**

• **انرژی جنبشی در هر نقطه: $K = \frac{1}{2}mv^2$**

• پس از ساده کردن عبارت فوق، به یک رابطه برای سرعت در هر نقطه از مسیر نوسانگر می رسیم:

$$v^2 = \omega^2A^2 - \omega^2x^2 \Rightarrow \boldsymbol{v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}}$$

• دقت کنید:

○ اگر متحرک به سمت راست حرکت کند، سرعت آن مثبت و اگر به سمت چپ حرکت کند سرعت آن منفی است.

○ تندی نوسانگر هم از رابطه فوق قابل محاسبه است، اما فاقد علامت می باشد.

مثال

• نوسانگری در هر 1.5 ثانیه، یک بار پاره خطی به طول 10 سانتی متر را طی می کند. سرعت این نوسانگر را زمانی که در سمت چپ مرکز نوسان در مکانی برابر با نصف دامنه به سمت چپ در حال حرکت است را محاسبه کنید. ($\pi = 3$)

جمع بندی کلی جهت یادآوری

- جهت یادآوری، در جدول زیر روابط شتاب، نیرو، انرژی ها و سرعت در حرکت نوسانی آورده شده است:

کمیت	در هر نقطه از مسیر	بزرگی مقدار بیشینه
شتاب	$a = -\omega^2 x$	$a_{max} = \omega^2 A$
نیرو	$F = -kx$	$F_{max} = kA$
سرعت	$v = \pm\omega\sqrt{A^2 - x^2}$	$v_{max} = \omega A$
انرژی جنبشی	$K = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2)$	$K_{max} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$
انرژی پتانسیل	$U = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$	$U_{max} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$
انرژی مکانیکی	$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$	$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$

- دقت کنید در تمام روابط فوق، می توان به جای $m\omega^2$ ثابت فنر یا k را قرار داد.

مثال

- نوسانگری، در مدت زمان 2 ثانیه طول یک پاره خط را طی می کند، درمکان معادل نصف حداکثر فاصله از مرکز نوسان، در سمت راست، سرعت این نوسانگر چند برابر سرعت آن در هنگام عبور از مرکز نوسان است؟

نسبت انرژی ها در نوسانگر

- به منظور به دست آوردن نسبت انرژی ها در یک مکان خاص از حرکت نوسانی، می توان از چند رابطه زیر استفاده کرد:

کمیت	در هر نقطه از مسیر	بزرگی مقدار بیشینه
انرژی جنبشی	$K = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2)$	$K_{max} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$
انرژی پتانسیل	$U = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$	$U_{max} = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$
انرژی مکانیکی	$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$	$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$
نسبت انرژی پتانسیل به جنبشی در هر نقطه از مسیر	$\frac{U}{K} = \frac{x^2}{A^2 - x^2}$	
نسبت انرژی پتانسیل به مکانیکی در هر نقطه از مسیر	$\frac{U}{E} = \frac{x^2}{A^2}$	
نسبت انرژی جنبشی به مکانیکی در هر نقطه از مسیر	$\frac{K}{E} = \frac{A^2 - x^2}{A^2}$	

- به قاعده زیر توجه کنید:
  - به طور کلی، در هر نقطه از مسیر، انرژی جنبشی با $A^2 - x^2$ متناسب است.
  - در هر نقطه از مسیر، انرژی پتانسیل با x^2 متناسب است.
  - در هر نقطه از مسیر، انرژی مکانیکی ثابت بوده و با A^2 در ارتباط است.
  - بنابراین هر زمان نسبت دو تا انرژی را خواستند، کافی است به جای هر کدام، مقادیر تناسب آنها را قرار دهید.
  - برای مثال، برای محاسبه نسبت انرژی جنبشی به مکانیکی، کافیست به جای انرژی جنبشی $A^2 - x^2$ و به جای انرژی مکانیکی A^2 را قرار دهید.
- تمرین کنید:
  - نسبت انرژی مکانیکی به پتانسیل را در هر نقطه از مسیر نوسانگر به دست آورید.
  - انرژی مکانیکی با A^2 در ارتباط است و انرژی پتانسیل با x^2، پس داریم:

$$\frac{E}{U} = \frac{A^2}{x^2}$$

مثال

در مکانی معادل یک سوم دامنه، نسبت انرژی پتانسیل به جنبشی را محاسبه کنید.

در این نقطه چند درصد انرژی مکانیکی را انرژی پتانسل تشکیل داده است؟

تشدید

تعریف بسامد طبیعی:

- اگر نوسانگر ساده ای مانند فنر ـ جرم یا آونگ را از وضعیت تعادل خود خارج کنیم و سپس رها کنیم، این نوسانگر با بسامد خاصی شروع به نوسان می کند.
- به این بسامد خاص، «بسامد طبیعی» نوسانگر گفته می شود.
- نوسان طبیعی را با f_o نشان می دهیم.
- بسامد طبیعی نوسانگر جزء «ویژگی های ساختاری» نوسانگر است.
- یعنی نمی توانیم بسامد طبیعی را تغییر دهیم، مگر اینکه شرایط فیزیکی دستگاه مانند طول نخ آونگ یا جرم متصل به فنر یا ثابت فنر و ... را تغییر دهیم.

آونگ ساده $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ سامانه جرم فنر $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

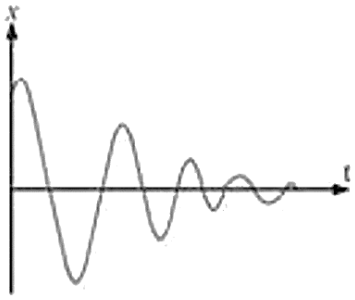
- در آونگ ساده، بسامد طبیعی به ثابت گرانش سیاره (زمین) و طول نخ آونگ وابسته است.
- در سیستم فنر ـ وزنه، بسامد طبیعی به ثابت فنر (جنس فنر) و جرم متصل به آن وابسته است.

بسامد واداشته

- هرگاه با اعمال یک نیروی خارجی، جسمی را وارد به نوسان کنیم، به این نوسان، «نوسان واداشته» می گوییم.
- بسامد نوسان واداشته، را با f_d نشان می دهیم.

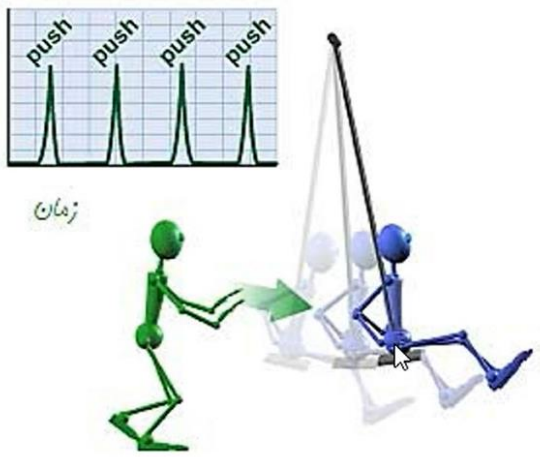
نوسان میرا

- در نوسانگرهای ایده آل، انرژی مکانیکی ثابت است.
- در این نوسانگرها، اتلاف انرژیف صفر در نظر گرفته می شود.
- چون انرژی مکانیکی در نوسان گرهای ایده آل، ثابت در نظر گرفته می شود، بنابراین مطابق رابطه $E = \frac{1}{2}kA^2$ دامنه این نوسانگرها با گذشت زمان تغییر نمی کند.
- بنابراین یک نوسانگر ایده آل باید تا ابد به نوسان خود ادامه دهد.
- در دنیای واقعی، هیچ نوسانگری ایده آل نیست.
- در اثر اتلاف انرژی (مقاومت هوا و ...)، انرژی مکانیکی نوسانگر واقعی، و دامنه نوسان به تدریج کاهش می یابد.
- به این نوسانات دنیای واقعی که در آنها به تدریج، در اثر اتلاف انرژی، انرژِ مکانیکی و دامنه نوسان کم می شود، «نوسان میرا» گفته می شود.



جلوگیری از میرایی نوسان

- فرض کنید یک نوسانگر میرا مانند تاب دارید، اگر بخواهید از میرایی یا کاهش دامنه آن جلوگیری کنید، باید یک نیروی خارجی را به صورت مرتب به آن وارد کنید تا باعث جبران انرژی مکانیکی از دست رفته شود.
- به این نیرو، «نیروی محرک» گفته می شود.
- در شرایطی که نیروی محرک به نوسانگری مانند تاب وارد می شود، تاب با بسامدی برابر بسامد نیروی محرک به نوسان در می آید.



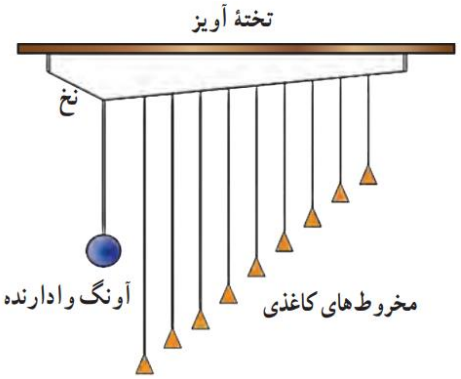
دامنه نوسان بیشینه

- زمانی دامنه نوسان یک نوسانگر مانند تاب بیشینه می شود که بسامد نوسان های واداشته یعنی f_d مساوی بسامد طبیعی تاب یا نوسانگر یعنی f_o باشد.

تشدید

• اگر بسامد نیروی محرک برابر بسامد طبیعی نوسانگر باشد یعنی $f_o = f_d$ باشد، آنگاه بیشترین توان ممکن از سمت نیرو به نوسانگر منتقل می شود، در نتیجه دامنه نوسان آن بیشینه می شود. به این پدیده، «تشدید» یا «رزونانس» گفته می شود.

آونگ های بارتون



• به تعدادی آونگ که مانند شکل، از یک میله افقی آویزان هستند، آونگ های بارتون گفته می شود.

• از آونگ های بارتون برای نمایش «نوسان واداشته» و «پدیده تشدید» استفاده می شود.

• در این مجموعه، تعدادی آونگ سبک با طول نخ های متفاوت از یک طناب آویزان هستند.

• یک آونگ سنگین به نام «آونگ وادارنده» هم وجود دارد که این آونگ هم به طناب اصلی متصل است.

• زمانی که آونگ بارتون در راستای عمودی بر صفحه، کشیده و رها شود (یعنی نوسان کند)، سایر آونگ ها به صورت واداشته شروع به نوسان می کنند.

• بسامد نوسان آونگ ها نزدیک به بسامد آونگ وادارنده است.

• دامنه نوسان آونگ ها متفاوت است.

○ آونگی که طول نخ آن مسای طول نخ آونگ وادارنده است، با بیشترین دامنه نوسان می کند. دلیل آن این است که بسامد طبیعی این آونگ (که وابسته به طول نخ آونگ است) با بسامد نیروی واداشته (که توسط آونگ وادارنده ایجاد می شود) برابر است. پس این آونگ بیشترین انرژی را دریافت کرده و پدیده تشدید رخ می دهد.

در چه صورتی حرکت هماهنگ سادهٔ یک ذره تشدید می‌شود؟ *(آزمایشی آموزش و پرورش شهر تهران ۸۴)*

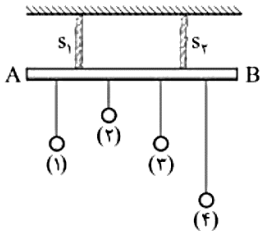
۱) نیروی محرک ثابتی به ذره وارد شود.

۲) بسامد نیروی محرک با بسامد طبیعی ذره یکی باشد.

۳) دامنهٔ نوسان زیاد باشد.

۴) دورهٔ نوسان کم باشد.

در شکل مقابل، آونگ‌های ساده‌ای از میلهٔ افقی AB آویخته شده‌اند. میله توسط طناب‌های s_1 و s_2 به سقف اتصال دارد. طول آونگ (۱)، دو برابر طول آونگ (۲)، نصف طول آونگ (۴) و برابر طول آونگ (۳) است. آونگ (۱) را در راستای عمود بر صفحهٔ شکل، از وضع تعادل خارج کرده، سپس رها می‌کنیم تا به نوسان درآید. در اثر این پدیده، کدام‌یک از آونگ‌ها به نوسان درمی‌آیند؟



۱) فقط ۲ و ۳

۲) فقط ۳

۳) فقط ۳ و ۴

۴) هر سه آونگ ۲، ۳ و ۴

طول آونگ ساده‌ای ۲۵ cm است. کدام‌یک از نیروهای زیر، می‌تواند نوسان‌های کم‌دامنهٔ این آونگ را تشدید کند؟ ($g = \pi^2\ m/s^2$)

۱) $F = 10\sin 3\pi t$ ۲) $F = 2\sin t$ ۳) $F = 2\sin 2\pi t$ ۴) $F = \sin 2t$

طول تعدادی آونگ ساده که از میله‌ای افقی آویزان‌اند، عبارت‌اند از ۰/۴ m، ۰/۸ m، ۱/۲ m، ۲/۸ m و ۳/۵ m. فرض کنید میله دست‌خوش نوسان‌هایی افقی با بسامد زاویه‌ای در گسترهٔ ۲ rad/s تا ۴ rad/s بشود. کدام آونگ‌ها با دامنهٔ بزرگ‌تری به نوسان درمی‌آیند؟ ($g = 10\ N/kg$)

۱) آونگ‌هایی با طول ۰/۴ m و ۰/۸ m ۲) فقط آونگ با طول ۰/۴ m

۳) آونگ‌هایی با طول ۰/۸ m و ۱/۲ m ۴) آونگ‌های با طول ۲/۸ m و ۳/۵ m

(تمرین ۳-۳ کتاب درسی)

یک انتهای فنری افقی به جرم ناچیز و ثابت ۱۰۰ N/m، به دیوار و انتهای دیگر آن به وزنه‌ای به جرم ۱ kg متصل است. برای ایجاد پدیدهٔ تشدید در این دستگاه، یک نیروی دوره‌ای در جهت مناسب به وزنه وارد می‌شود. لحظه‌های تأثیر این نیرو (برحسب ثانیه) از کدام رابطه به دست می‌آید؟ ($n = 0,1,2,\ldots$)

۱) $0/1n$ ۲) $0/2n$

۳) $0/2n\pi$ ۴) $0/1n\pi$

موج و انواع آن

- اگر ارتعاشی در یک محیط ایجاد شود، آن ارتعاش باعث می شود که ذرات محیط نوسان کنند.
- انرژی این ارتعاش در طول محیط پخش می شود.
- به این پخش شدن و انتقال انرژی، موج گفته می شود.

موج انواع مختلفی دارند:

- موج الکترومغناطیسی
  - نیاز به ماده برای انتقال ندارند.
  - از خلاء به راحتی عبور می کنند.
  - مانند نور
- امواج مکانیکی
  - به محیط مادی برای انتقال نیاز دارند.
  - مانند موج ایجاد شده در طناب، موج ایجاد شده در فنر، امواج صوتی
  - این امواج توانایی عبور از خلاء را ندارند.

- ما نور خورشید را می بینیم اما صدای خورشید را نمی شنویم.
  - این نشان می دهد صدا جزء امواج مادی است و نمی تواند از خلاء عبور کند.
  - اما نور جزء امواج الکترومغناطیسی است و از خلاء عبور می کند.

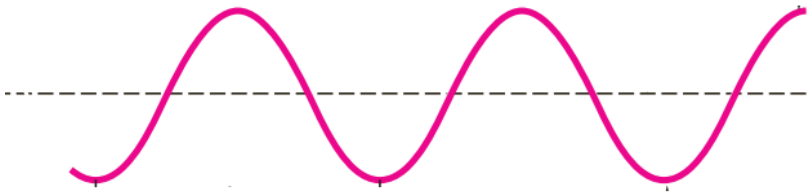
دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷

محیط کشسان

- محیط کشسان به محیطی گفته می شود که در مقابل تغییر مقاومت می کند و به حالت اول خود بر می گردد.
  - مانند فنر و ...
- امواج مکانیکی که نیاز به ماده دارند، فقط در محیط های کشسان ایجاد و منتقل می شوند.
- برای مثال:
  - یک قطعه سنگ یک محیط غیرکشسان است و نمی توان در آن مانند طناب یا فنر در آن موج مکانیکی ایجاد کرد.
  - صوت در محیط کشسان ایجاد می شود. زمانی که صوت در هوا ایجاد می شود، با رسیدن صوت به ذرات هوا، موج صوتی ذرات هوا را به عقب می راند، این ذرات انرژی را به ذرات بعدی داده و خودشان به سرجای خود بر می گردند، این اتفاق همان خاصیت کشسانی هوا برای امواج صوتی است.
- پس می توان گفت:
  - ذرات سازنده ماده در محیط کشسان با نوسان خودشان انرژی موج را جابه جا می کنند.

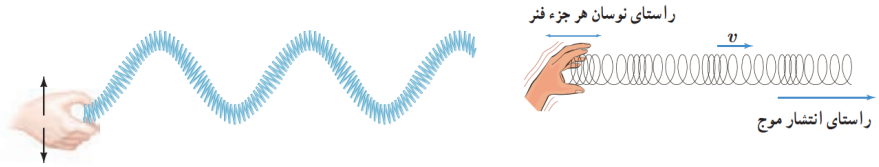
دسته بندی امواج (طولی و عرضی)

- در امواج دو نوع حرکت وجود دارد:
  - ارتعاش یا نوسان: نوسانات یا حرکت به سمت عقب و جلو یا به سمت بالا و پایین ذرات است.
  - انتشار: حرکت موج در محیط یا حرکت انرژی موج در محیط است. (پیشروی موج)



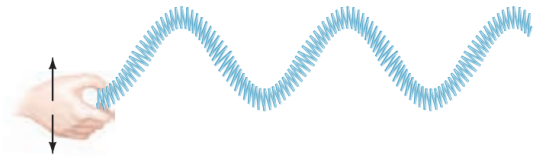
امواج طولی

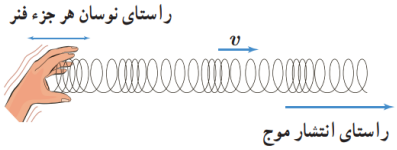
- به امواجی، طولی گفته می شود که ارتعاش یا نوسان ذرات محیط، هم راستای انتشار باشد.
- برای مثال، صوت نوعی موج طولی است.
- در امواج صوتی، ذرات هوا در جهت عقب و جلو در راستای انتشار موج صوتی، ارتعاش می کنند.



امواج عرضی

- به امواجی عرضی گفته می شود که ارتعاش یا نوسان ذرات محیط موج، عمود بر راستای انتشار آن موج باشد.
- برای مثال، نور (امواج الکترومغناطیسی) نوعی موج عرضی است.





- بنابراین:
  - نور موج عرضی است.
  - صوت موج طولی است.
  - ارتعاش یا نوسان ذرات، انرژی را از یک ذره به ذره دیگر منتقل می کنند.
  - اما انتشار، انرژی را در محیط از یک نقطه به نقطه دیگر می برد.

امواج پیش رونده

- به موج طولی و موج عرضی امواج پیش رونده گفته می شود.
- زیرا این امواج در محیط، انرژی را از یک نقطه به نقطه دیگر پیش می برند.

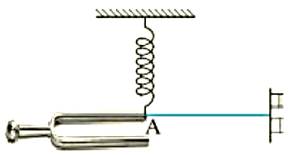
کدام‌یک از امواج زیر، الکترومغناطیسی‌اند؟

۱) صوت ۲) رادیویی ۳) امواج تولیدشده بر سطح آب ۴) امواج زلزله

موج تولیدشده در تار و موج صوتی حاصل از آن‌که به گوش شنونده می‌رسد، به ترتیب چگونه‌اند؟

۱) طولی، طولی ۲) طولی، عرضی ۳) عرضی، طولی ۴) عرضی، عرضی

در طرح روبه‌رو، یک سر نخ و فنر در نقطهٔ A به شاخهٔ دیاپازون وصل شده است. با ارتعاش دیاپازون، نوع موج‌هایی که در نخ و فنر انتشار می‌یابند، به ترتیب کدام است؟ *(برگرفته از امتحان هماهنگ ریاضی ۸۴)*



۱) عرضی، عرضی
۲) عرضی، طولی
۳) طولی، عرضی
۴) طولی، طولی

در یک موج عرضی، چند درصد امکان دارد سرعت نوسان یک ذره از محیط، در جهت سرعت انتشار موج باشد؟

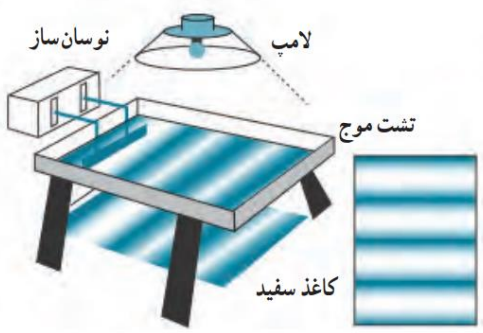
۱) صفر ۲) ۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۱۰۰

در یک موج طولی، چند درصد امکان دارد سرعت نوسان یک ذره از محیط، در جهت سرعت انتشار موج باشد؟

۱) صفر ۲) ۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۱۰۰

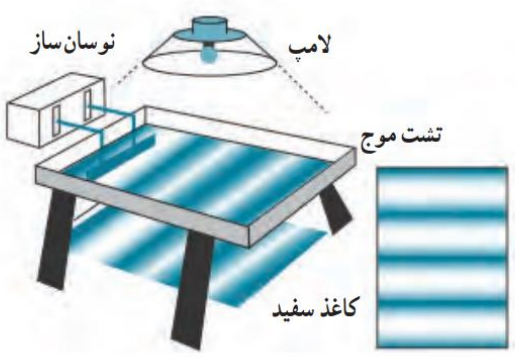
مشخصه های موج

- تشت موج:
  - تشت موج یک وسیله آزمایشگاهی است که طرح ساده آن را در شکل مشاهده می کنید.
  - از یک ظرف با کف شیشه ای درست شده است.
  - در آن یک مایع مانند آب با عمق مناسب ریخته می شود.
  - یک وسیله مانند دیاپازون برقی یا ... به عنوان نوسان ساز، نوسان را ایجاد می کند.
  - می توان سایه موج را روی کاغذ زیر تشت مشاهده و مطالعه کرد.



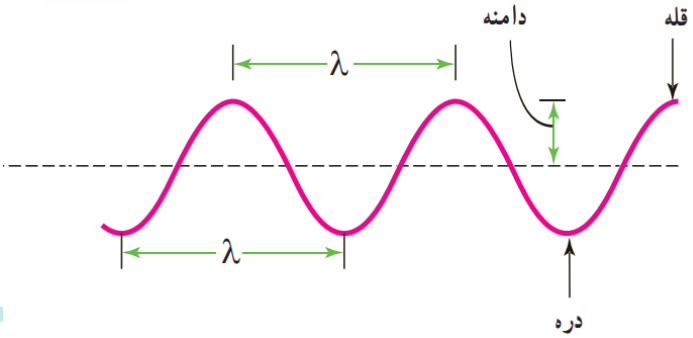
- جبهه موج:
  - به هر کدام از برامدگی ها یا فرورفتگی های جلویی موج که در حال حرکت در محیط است، جبهه موج گفته می شود.
- موج یک بعدی:
  - موجی که در یک طناب یا تار ایجاد می شود، یک موج یک بعدی است.
  - زیرا در یک جهت منتشر می شود.
- موج دو بعدی:
  - موجی که روی سطح آب ایجاد می شود دو بعدی است، زیرا در یک صفحه منتشر می شود.

- موج تخت:
  - در موج تخت، جبهه موج به صورت یک صفحه می باشد و در محیط حرکت می کند.
  - زمانی که یک صفحه در تشت موج وارد و خارج شود، موج تخت ایجاد می شود.



- موج دایره ای:
  - زمانی که برای مثال یک سنگ را داخل آب می اندازیم، امواجی ایجاد می شوند که جبهه آنها به صورت دایره هایی با مرکز یکسان است و انتشار می یابد، به این امواج، امواج دایره ای گفته می شود.

- دامنه موج:
  - بیشترین فاصله ذرات محیط انتشار موج از نقطه تعادل، را دامنه موج می نامیم.
  - دامنه موج را با A نشان می دهیم.



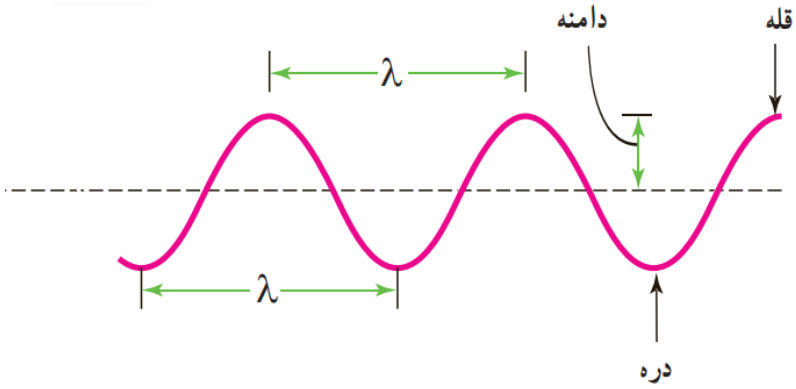
- بسامد موج:
  - به تعداد نوسانات کاملی که ذرات در محیط موج در هر ثانیه انجام می دهند، بسامد موج گفته می شود.
  - بسامد موج را با نماد f نشان می دهیم
  - واحد بسامد هرتز Hz یا s^{-1} می باشد.
- نکته:
  - بسامد یک موج با محیط تغییر نمی کند.
  - یعنی جزء ذات موج است و با عوض شدن و ح رکت موج در محیط های مختلف بسامد ثابت می ماند.
  - بسامد یک موج برابر با بسامد چشمه موج (نوسانگر ایجاد کننده موج) است.

- دوره تناوب:
  - به مدت زمانی گفته می شود که ذرات در محیط موج یک نوسان کامل انجام می دهند.
  - دوره تناوب را با T نشان می دهیم.

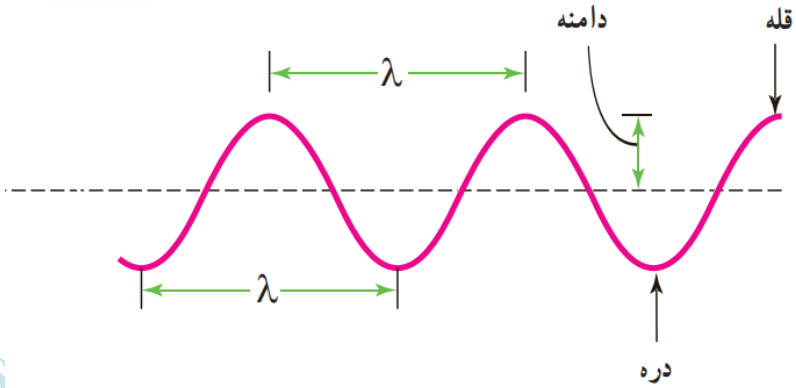
- دوره تناوب معکوس بسامد است.

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

- واحد دوره تناوب ثانیه می باشد.



- طول موج:
  - به مسافتی که موج در یک نوسان کامل طی می کند، طول موج گفته می شود.
  - طول موج را با نماد لاندا λ نشان می دهیم.
  - واحد طول موج همان واحد طول است و برحسب نوع موج متفاوت است و می تواند متر، نانومتر، میکرومتر و ... باشد.
  - ب



- تندی انتشار موج:
  - همان تندی انتشار موج در یک محیط است.
  - به مسافتی گفته می شود که موج در یک ثانیه طی می کند.
  - واحد آن متر بر ثانیه یا واحدهای مشابه می باشد.
  - تندی موج را با v نشان می دهیم.

- موج برای طی کردن یک نوسان کامل یعنی طول λ به اندازه T ثانیه (یک دوره تناوب) زمان نیاز دارد.
- پس یک موج مسافت معادل λ را در T ثانیه طی می کند.
- پس برای سرعت یا تندی یک موج داریم:

$$\boldsymbol{v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \lambda = v.T \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f}}$$

- رابطه فوق، رابطه بین طول موج، سرعت و دوره تناوب یک موج را نشان می دهد.
- مثال:
  - اگر طول موج یک موج معادل $10\ nm$ باشد و بسامد آن $10^5\ Hz$ باشد، سرعت انتشار موج چقدر است؟

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad f = \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \boldsymbol{v = \lambda . f} = 10 \times 10^{-9} \times 10^5 = 10 \times 10^{-4} = 10^{-3}\frac{m}{s}$$

جمع بندی

- فرمول هایی که در مشخصه های موج با آن سروکار داریم:

$$v = \lambda . f \qquad \lambda = \frac{v}{f} \quad \lambda = v.T \qquad T = \frac{\text{زمان}}{\text{تعداد نوسانات کامل}} \qquad f = \frac{\text{تعداد نوسانات کامل}}{t}$$

- همچنین دقت کنید بسامد یا f، دوره تناوب یا T و بسامد زاویه ای وابسته به منبع موج هستند و با عوض شدن محیط موج تغییری نمی کنند.
- اما سرعت و طول موجی کاملاً به محیط وابسته هستند. یعنی اگر محیط عوض شود، سرعت و طول موج عوض می شود.

امواج لرزه ای

- هر نوع حرکت عظیم زیرزمینی باعث ایجاد امواج مکانیکی به نام امواج لرزه ای می شوند.
- امواج لرزه ای دو نوع هستند:
  - **امواج اولیه یا P:**
    - ❖ این امواج (مشابه امواج صوتی) طولی هستند. یعنی راستای انتشار و ارتعاش یکسان است.
    - ❖ سرعت این امواج بیشتر است و قبل از امواج S به سطح زمین می رسند.
  - **امواج ثانویه یا S:**
    - ❖ این امواج عرضی (مشابه موج نور) هستند، یعنی راستای ارتعاش بر انتشار عمود است.
    - ❖ سرعت این امواج از موج P کمتر بوده و بعد از امواج P به سطح زمین می رسند.

- با استفاده از اختلاف زمانی رسیدن امواج P و S به سطح زمین، می توان به عمق زمین لرزه پی برد.

یک دستگاه لرزه‌نگار موج‌های P و S حاصل از یک زمین‌لرزه را ثبت می‌کند. اگر نخستین امواج P، ۳ دقیقه قبل از نخستین امواج S دریافت شوند و موج‌ها روی خط راستی حرکت کنند، زمین‌لرزه در چه فاصله‌ای از محل لرزه‌نگار رخ داده است؟ (تندی موج‌های P، S به ترتیب $8\ km/s$ و $4\ km/s$ فرض شوند.)

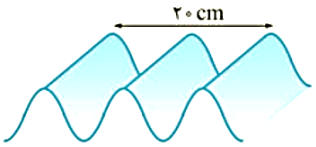
یک موج عرضی در طنابی در حال انتشار است. کدام کمیت در یک بازهٔ معین برای تمام ذرات طناب یکسان است؟ *(سراسری تجربی ۹۸)*

۱) مسافت ۲) جابه‌جایی ۳) شتاب متوسط ۴) بسامد زاویه‌ای

اگر دامنهٔ نوسان یک چشمهٔ موج ۲ برابر شود، تندی انتشار موج در محیط چه تغییری پیدا می‌کند؟

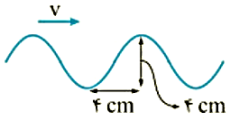
۱) ۴ برابر می‌شود. ۲) $\frac{۱}{۴}$ برابر می‌شود. ۳) تغییر نمی‌کند. ۴) ۲ برابر می‌شود.

امواجی با بسامد ۱۰۰ Hz به شکل مقابل، بر سطح آب منتشر می‌شود. تندی انتشار موج بر سطح آب چند m/s است؟



۱) ۱۰ ۲) ۲۰
۳) ۱۰۰۰ ۴) ۲۰۰۰

موجی به شکل روبه‌رو در طول یک طناب تشکیل شده است. تندی انتشار موج چند برابر بیشینهٔ تندی ذرات طناب است؟



۱) π ۲) $\frac{\pi}{۲}$ ۳) $\frac{۱}{\pi}$ ۴) $\frac{۲}{\pi}$

چشمهٔ تولید موجی که معادلهٔ آن در SI به صورت $y = ۰/۲\cos ۲۰۰\pi t$ است، امواجی با طول موج ۰/۵ m را در محیط منتشر می‌کند. چند ثانیه طول می‌کشد تا این موج‌ها، مسافت ۱۵۰ متر را طی کنند؟

۱) ۰/۱ ۲) ۰/۵ ۳) ۳ ۴) ۳۰

تندی انتشار یک موج عرضی در یک طناب ۴۰۰ m/s، دامنهٔ موج ۵ cm و طول موج آن ۵۰ cm است. هر ذره از محیط انتشار موج در چه مدتی (برحسب ثانیه)، مسافت ۱ km را طی می‌کند؟

۱) ۲/۵ ۲) ۶/۲۵ ۳) ۲۵ ۴) ۶۲۵

تندی موج عرضی در تار و فنر

- **چگالی خطی جرمی:**
  - به نسبت جرم یک طناب یا تار به طول آن، چگالی خطی جرمی گفته می شود.
  - چگالی خطی جرمی را با نماد μ نشان می دهیم.
  - در حقیقت چگالی خطی جرمی مشخص می کند جرم یک متر از یک طناب یا تار، چند کیلوگرم است.

$$\mu = \frac{m}{l}$$

- سرعت انتشار امواج عرضی در یک طناب یا تار از رابطه زیر به دست می آید:

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

- در این رابطه، F نیروی کشش طناب و μ چگالی خطی جرمی می باشد.
- می توان در رابطه فوق، به جای μ عبارت مساوی آن را قرار داد:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F.l}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F.l}{m}}$$

- با توجه به رابطه تندی موج عرضی در طناب یا تار می توان نتیجه گرفت:
  - تندی با نیروی کشش طناب (با جذر آن) رابطه مستقیم دارد. هرچه نیروی کشش طناب بیشتر باشد، تندی بیشتر است.
  - **اگر جرم طناب ثابت باشد:** تندی با طول طناب رابطه مستقیم دارد (با جذر آن). هرچه طول طناب بیشتر باشد، تندی بیشتر خواهد بود.
  - **اگر طول طناب ثابت باشد:** تندی با جرم طناب رابطه معکوس دارد. (با جذر آن). هر چه طول جرم طناب بیشتر باشد، تندی کمتر می شود.
- بنابراین:
  - مشخصه های یک طناب یا تار تعیین کننده تندی موج عرضی در آن طناب یا تار است.
  - مشخصات منبع ایجاد کنند موج یعنی دامنه، بسامد و دوره، روی سرعت موج عرضی در طناب یا تار کشیده شده تأثیری ندارند.

موج عرضی در زمان ۴۸ ms از طناب (۱) به جرم m_1 و طول l_1 می‌گذرد. اگر موج عرضی در زمان ۳۶ ms از طناب (۲) به جرم $m_2 = 2m_1$ و طول $l_2 = 8l_1$ عبور کند، نیروی کشش طناب (۲) چند برابر نیروی کشش طناب (۱) است؟

۱) $\frac{4}{3}$ ۲) $\frac{16}{3}$ ۳) $\frac{64}{9}$ ۴) $\frac{256}{9}$

رابطه تندی موج عرضی در طناب یا تار کشیده شده با قطر و چگالی طناب

- می دانیم تندی موج عرضی در طناب یا تار کشیده شده از رابطه زیر به دست می آید:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F.l}{m}} = \sqrt{\frac{F.l}{\rho.V}} = \sqrt{\frac{F.l}{\rho.A.l}} = \sqrt{\frac{F}{\rho.\pi R^2}} \Rightarrow \boldsymbol{v = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}} = \frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}}$$

- در رابطه فوق، ρ چگالی طناب، F نیروی کشش طناب و D قطر طناب می باشد.
- با توجه به این رابطه:
  - هرچه D کوچک تر شود، یعنی طناب باریکتر شده است پس تندی موج عرضی در آن بیشتر می شود.
  - هرچه چگالی یا ρ یک طناب کمتر شود، تندی موج در آن بیشتر می شود.

- هرچه نیروی کشش یک طناب یا تار بیشتر شود، (یعنی محکم تر کشیده شده باشد) تندی امواج عرضی در آن بیشتر می شود.

- نکته مهم: دو مورد متفاوت
- مورد اول:
  - اگر برای مثال یک تار از فلز خاص داشته باشید، آن را ذوب کنید و تاری با طول بیشتر ایجاد کنید.
  - طول را افزایش داده اید پس تندی بیشتر می شود.
  - از طرفی چون طول را بیشتر کرده اید، قطر طناب کمتر شده و تار لاغرتر شده است، پس تندی بیشتر می شود.
- مورد دوم:
  - اگر یک تار داشته باشید برای مثال ۲ متر باشد و تندی موج عرضی در آن معادل ۲ متر بر ثانیه باشد.
  - اگر طولی معادل ۶ متر از آن را بردارید، باز هم تندی موج عرضی در آن معادل همان ۲ متر بر ثانیه است.
  - زیرا اگر طول را سه برابر کنید، جرم هم متناسب با آن سه برابر می شود، پس اثری روی تندی نخواهد داشت.

بنابراین:

  - اگر قطر طناب ثابت بود، تندی طناب از طول آن مستقل است.
  - اما اگر به هر روشی برای مثال ذوب کردن یک تار و ساخت تار جدید یا کشیدن زیادی یک تار و تولید تاری با طول بیشتر و قطر کمتر یا ...، قطر را تغییر دادید، حتماً تندی هم تغییر خواهد کرد.

سیمی با چگالی $8\ g/cm^3$ و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع، بین دو نقطه با نیروی ۸۰ نیوتون کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی در این سیم چند متر بر ثانیه است؟ *(سراسری ریاضی ۸۶)*

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۳۰۰ ۴) ۴۰۰

نیروی کشش تاری را دو برابر و طول آن را نصف می‌کنیم. تندی انتشار موج در آن چند برابر می‌شود؟ *(سراسری ریاضی قدیمی)*

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

تاری به طول یک متر و جرم ۸ گرم با نیروی کشش ۳۲۰ N بین دو نقطه بسته شده است. موج عرضی در تار ایجاد می‌کنیم. این موج طول تار را در چند ثانیه طی می‌کند؟ *(سراسری ریاضی خارج ۹۸)*

۱) ۰/۰۲۰ ۲) ۰/۰۵۰ ۳) ۰/۰۰۲ ۴) ۰/۰۰۵

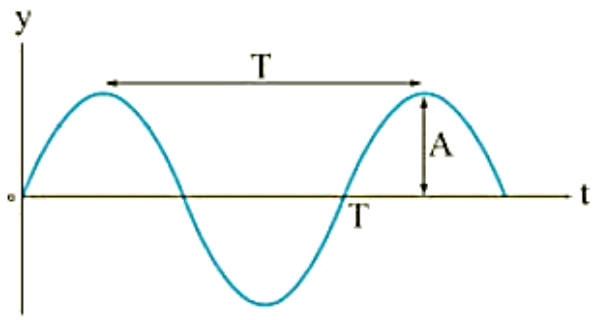
چگالی خطی جرم (جرم واحد طول) در یک سیم که در ساز موسیقی به کار رفته، $4\times10^{-3}\ kg/m$ است واین سیم بین دو نقطه با نیروی ۲۵۰ N کشیده شده است. اگر بسامد صوت حاصل از ساز ۳۱۲/۵ Hz باشد، طول موج ایجادشده در آن چند متر است؟ *(سراسری ریاضی ۹۸)*

۱) ۰/۵۰ ۲) ۰/۷۵ ۳) ۰/۸۰ ۴) ۱/۲۵

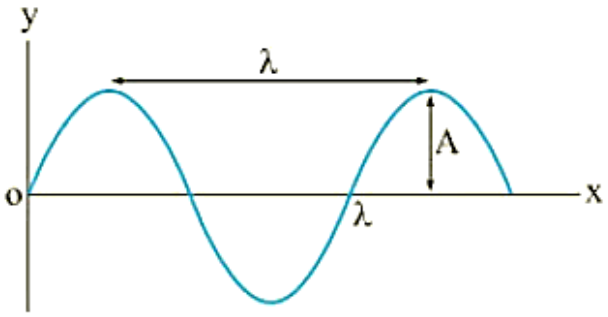
نقش موج

می توان نمودار یک موج را به دو صورت ترسیم کرد:

- جابه جایی ذرات محیط انتشار موج بر حسب زمان
- جابه جایی ذرات محیط انتشار موج برحسب مکان یا فاصله



(ب)



(الف)

- در شکل الف، جابه جایی همه نقاط محیط انتشار موج را به صورت تابعی از مکان آن نقاط در یک لحظه نشان داده شده است.
- در شکل ب، جابه جایی یک نقطه از محیط انتشار موج را در به صورت تابعی از زمان نشان داده است.
- بنابراین در شکل الف، موقعیت همه نقاط محیط در یک لحشه نشان داده شده است، انگار در یک لحظه از همه نقاط یک موج عرضی (مانند موج تشکیل شده در طناب) عکس گرفته شده است و نقش موج ثبت شده است.
- درشکل ب، موقعیت یک نقطه از محیط موج، در تمام لحظه ها نشان داده شده است.
- در شکل الف، نقش موج پس از فاصله معادل یک طول موج (λ) تکرار می شود در حالی که درشکل ب، شکل نمودار پس از مدت یک دوره تناوب (T) تکرار می شود.

تعیین نحوه حرکت یا نوسان ذرات در یک موج

- در مدت انتشار موج، هر نقطه از محیط، پس از چند لحظه، حرکت نقاط قبلی خود را تکرار می کند.
- بنابراین می توان حرکت بعدی هر نقطه از یک موج را پیش بینی کرد.
- برای اینکار می توانید شکل موج را اندکی در جهت انتشار موج انتقال دهید.
- یعنی موج را در یک لحظه بعد از لحظه اولیه ترسیم کنید.
- با اینکار شکل بعدی موج به دست می آید.
- در نتیجه می توان موقعیت یک نقطه را با موقعیت جدید آن مقایسه کرد.

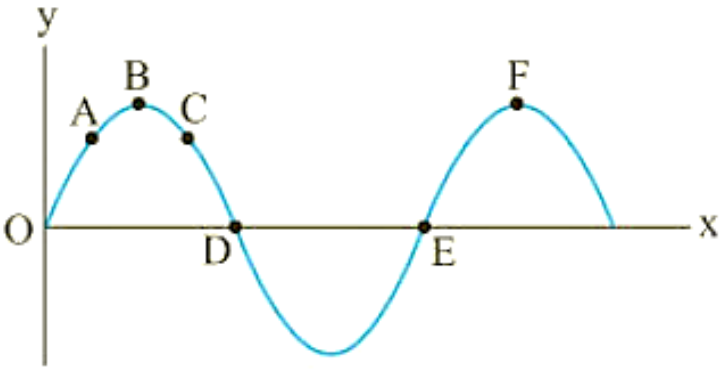
راه بسیار راحت تر:

اگر جهت انتشار موج به سمت راست باشد، آنگاه:

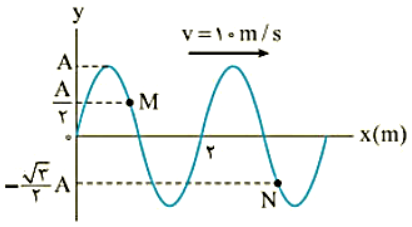
- اگر نقش موج در حال بالا رفتن بود، نقطه مورد نظر در حال پایین آمدن است.
- اگر نقش موج در حال پایین آمدن بود، نقطه مورد نظر در حال بالا رفتن است.
- اگر یک نقطه در حال نزدیک شدن به نقطه وسط بود، حرکت نوسانی آن تند شونده خواهد بود.
- اگر یک نقطه در حال نزدیک شدن به قله ها بود، حرکت نوسانی آن کند شونده خواهد بود.
- قله ها، قطعا در حال نوسان به سمت پایین خواهند بود.
- دره ها، قطعادر حال نوسان به سمت بالا خواهند بود.
- اگر جهت انتشار موج به سمت چپ باشد، آنگاه همه چیز برعکس فوق خواهد شد.

مثال:

مشخص کنید هرکدام از نقاط محیط انتشار موج که در نقاط نشان دار شده قرار گرفته اند، به کدام سمت حرکت می کنند و حرکت آنها چگونه است؟ (تند شونده یا کند شونده؟)



نقش یک موج عرضی در طنابی در لحظهٔ $t = ۰$، مطابق شکل روبه‌رو است. در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۳۰}\,s$، مکان ذرات M و N، به ترتیب از راست به چپ، کدام است؟ *(سراسری ریاضی خارج ۹۳)*



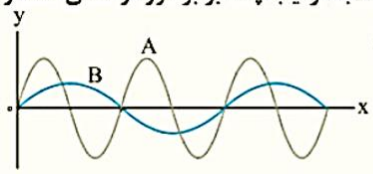
۱) صفر، $+\frac{A}{۲}$

۲) صفر، صفر

۳) $+A$، $+\frac{A}{۲}$

۴) $+A$، صفر

مطابق شکل روبه‌رو، دو موج مکانیکی A و B در یک محیط منتشر می‌شوند. دوره و تندی انتشار موج A به ترتیب چند برابر دوره و تندی انتشار موج B است؟ *(سراسری تجربی خارج ۹۷) و (سراسری ریاضی خارج ۹۸)*



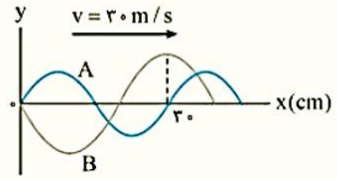
۱) ۲ و ۱

۲) $\frac{۱}{۲}$ و ۱

۳) ۲ و $\frac{۱}{۲}$

۴) $\frac{۱}{۲}$ و ۲

شکل مقابل، نقش دو موج را در لحظهٔ معینی نشان می‌دهد که در یک محیط در حال انتشارند. چشمهٔ موج A در هر ۲۰ ثانیه چند نوسان کامل بیشتر از چشمهٔ موج B انجام می‌دهد؟ *(سراسری تجربی خارج ۹۵)*



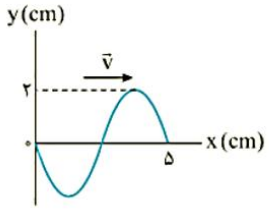
۱) ۲۵

۲) ۷۵

۳) ۱۰۰

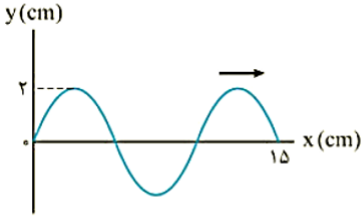
۴) ۵۰۰

نقش یک موج عرضی که در یک طناب با سرعت $20\ cm/s$ در حال انتشار است، مطابق شکل زیر است. مسافتی که یک ذره از طناب در مدت $\frac{1}{8}\ s$ طی می‌کند، چند سانتی‌متر است؟ *(سراسری تجربی خارج ۹۸)*



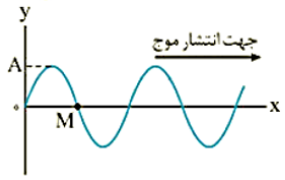
۱) ۱
۲) ۲
۳) ۴
۴) ۸

شکل زیر، یک موج سینوسی را در لحظه‌ای از زمان نشان می‌دهد که در جهت محور x در طول ریسمان کشیده‌شده‌ای حرکت می‌کند. اگر نیروی کشش ریسمان $80\ N$ و چگالی خطی (جرم واحد طول) آن $0/2\ kg/m$ باشد، هر یک از ذرات ریسمان، در مدت $0/01\ s$ مسافت چند سانتی‌متر را طی می‌کنند؟ *(سراسری ریاضی ۹۸)*



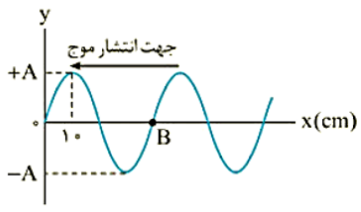
۱) ۲
۲) ۴
۳) ۸
۴) ۱۶

نقش موجی در یک طناب، در لحظهٔ $t=0$ مطابق شکل زیر است. در بازهٔ زمانی صفر تا $\frac{3T}{4}$، جابه‌جایی ذرهٔ M و مسافتی که موج در این مدت طی می‌کند، به ترتیب کدام است؟ *(سراسری ریاضی خارج ۸۵)*



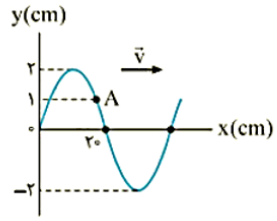
۱) $\frac{3\lambda}{2}$ ، A
۲) $\frac{3\lambda}{2}$ ، $-A$
۳) $\frac{3\lambda}{4}$ ، A
۴) $\frac{3\lambda}{4}$ ، $-A$

شکل مقابل، نقش موجی را در یک طناب در لحظهٔ $t=0$ نشان می‌دهد که با تندی $10\ m/s$ در خلاف جهت محور x منتشر می‌شود. پس از چند ثانیه ذرهٔ B برای اولین بار در مکان $+A$ قرار می‌گیرد؟ *(سراسری تجربی خارج ۸۶)*



۱) $\frac{1}{25}$
۲) $\frac{1}{50}$
۳) $\frac{1}{100}$
۴) $\frac{3}{100}$

شکل زیر، نقش یک موج عرضی را که با تندی $10\ m/s$ در جهت محور x منتشر می‌شود، در لحظهٔ $t = 0$ نشان می‌دهد. در بازهٔ زمانی $0 \le t \le \frac{1}{150}\ s$، جابه‌جایی ذرهٔ A چند سانتی‌متر است؟ *(سراسری ریاضی خارج ۸۸)*



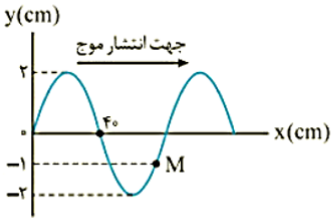
۱) ۱

۲) ۲

۳) $\sqrt{3}$

۴) $\frac{4-\sqrt{3}}{2}$

شکل زیر، نقش موجی را در یک طناب در لحظهٔ $t = 0$ نشان می‌دهد. در بازهٔ زمانی صفر تا $\frac{1}{75}$ ثانیه، حرکت ذرهٔ M چگونه است؟ (تندی انتشار موج در طناب $10\ m/s$ است.) *(سراسری ریاضی خارج ۸۶)*



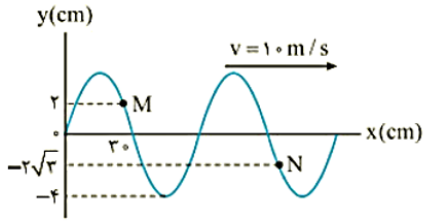
۱) کندشونده است.

۲) تندشونده است.

۳) ابتدا کندشونده و سپس تندشونده است.

۴) ابتدا تندشونده و سپس کندشونده است.

شکل زیر، نقش موجی را در لحظهٔ $t = 0$ نشان می‌دهد. در لحظهٔ $t = \frac{1}{200}\ s$، بزرگی شتاب ذرهٔ M چند برابر بزرگی شتاب ذرهٔ N است؟ *(سراسری تجربی ۹۴)*



۱) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

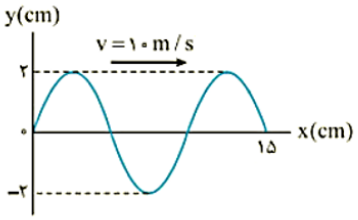
۲) $\frac{\sqrt{3}}{3}$

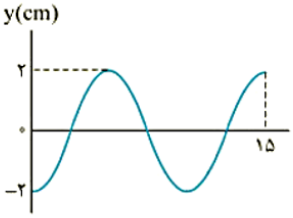
۳) ۱

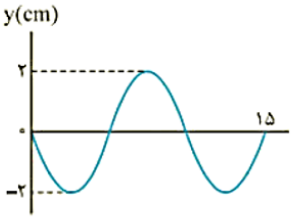
۴) $\sqrt{3}$

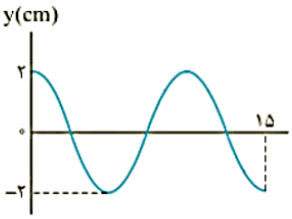
نقش موجی در لحظهٔ $t = ۰$، مطابق شکل است. نقش موج در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۴۰۰}\,s$ کدام است؟

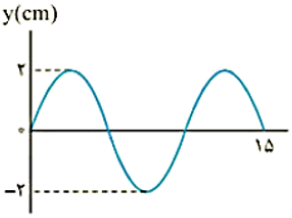
(سراسری تجربی ۹۰)



۱) 

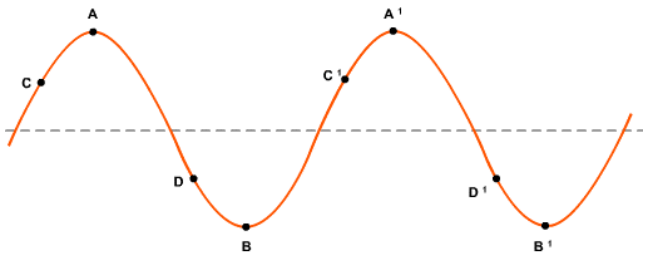
۲) 

۳) 

۴) 

نقاط هم فاز (همگام) و نقاط در فاز مخالف

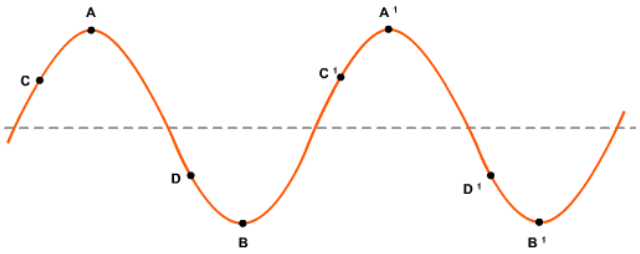
- به نقاطی که همواره در یک وضعیت نوسانی یکسان هستند، «نقاط هم فاز» یا «نقاط هم گام» گفته می شود.
- اگر می خواهید نقاط هم فاز را در یک موج پیدا کنید، کافی است یک خط افقی ترسیم کنید، تمام نقاط موج که توسط این خط افقی قطع می شود، و دارای جهت حرکت نوسانی مشابه است، (همه رو به بالا یا همه رو به پایین) هم فاز هستند.
- تمام نقاطی که در قله های یک موج قرار دارند، هم فاز هم هستند.
- تمام نقاطی که در دره های یک موج قرار دارند، هم فاز هم هستند.
- در حقیقت، نقاط هم فاز، از نظر جابه جایی از وضع تعادل و جهت حرکت یکسان هستند.



فاصله فیزیک (مسافتی یا جابه جایی) نقاط هم فاز از هم

- فاصله دو نقطه متوالی هم فاز، یعنی فاصله یک نقطه با اولین نقطه هم فاز بعد از آن معادل یک طول موج یعنی λ می باشد.
- بنابراین، فاصله نقاط هم فاز از یکدیگر، برابر با مضرب صحیحی از λ می باشد.
- یا اینکه، فاصله نقاط هم فاز از یکدیگر، مضرب زوجی از نصف طول موج است.
- پس برای فاصله دو نقطه هم فاز می توان نوشت:

$$\Delta x = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2}$$



فاصله زمانی نقاط هم فاز

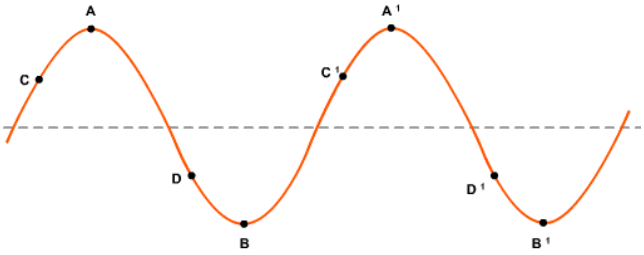
- همانطور که گفته شد، فاصله فیزیکی نقاط هم فاز از یکدیگر، مضرب صحیحی از طول موج است.

$$\Delta x = n\lambda = 2n\frac{\lambda}{2}$$

- می دانیم که موج، فاصله یک طول موج (λ) را در مدت زمان T طی می کند.
- بنابراین، مدت زمانی که طول می کشد تا موج از یک نقطه به n امین نقطه هم فاز با آن نقطه برسد، به صورت زیر محاسبه می شود.

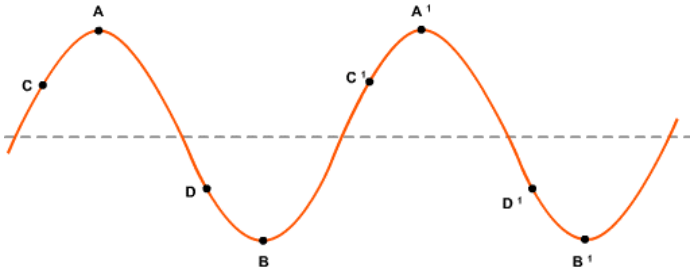
$$\Delta t = nT = 2n\frac{T}{2}$$

- به عبارتی، رابطه فوق فاصله زمانی نقاط هم فاز را نشان می دهد.



نقاط در فاز مخالف

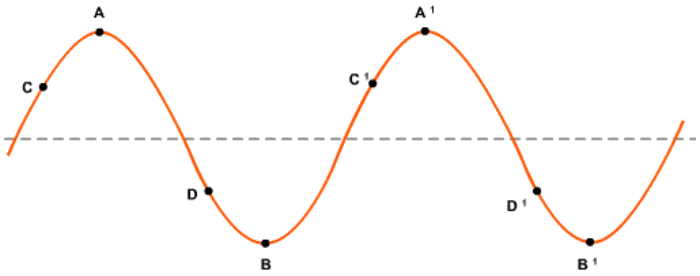
- به نقاطی که وضعیت نوسانی آنها همواره قرینه یکدیگر است، «نقاط در فاز مخالف» یا «نقاط در فاز متقابل» گفته می شود.
- برای مثال، در شکل زیر: دو نقطه A و A' هم فاز هستند. اما هر دوی این نقاط با دو نقطه B و B' در فاز مخالف هستند.
- زیرا جهت حرکت نوسانی آنها همواره با هم مخالف است.



فاصله فیزیکی نقاط با فاز مخالف

- فاصله یک نقطه با اولین نقطه با فاز مخالف آن، **مضرب صحیح و فرد** از نصف طول موج است.
- یا به عبارتی، می توان رابطه زیر را برای فاصله فیزیک نقاط با فاز مخالف در نظر گرفت:

$$\Delta x = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$



فاصله زمانی نقاط با فاز مخالف

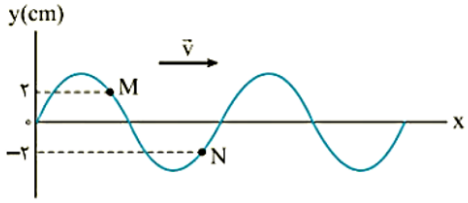
- همانطور که گفته شد، فاصله فیزیکی نقاط با فاز مخالف به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\Delta x = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$

- می دانیم موج در مدت زمان معادل T فاصله معادل یک طول موج یعنی λ را طی می کند.
- بنابراین به راحتی می توان رابطه زیر را بر فاصله زمانی نقاط با فاز مخالف نوشت:

$$\Delta t = (2n-1)\frac{T}{2}$$

شکل زیر، نقش یک موج عرضی را در طنابی در یک لحظه نشان می‌دهد. دو ذرهٔ M و N: *(سراسری ریاضی خارج ۹۵ با اندکی تغییر)*



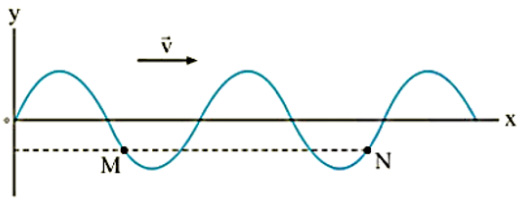
۱) حرکت یکی تندشونده و دیگری کندشونده است.

۲) تندی‌شان برابر است.

۳) جهت حرکتشان یکسان است.

۴) هم‌گام‌اند و گزینه‌های ۲ و ۳ هر دو درست‌اند.

شکل روبه‌رو، موج عرضی را در طناب نشان می‌دهد. کدام مورد دربارهٔ دو نقطهٔ M و N از طناب درست است؟ *(سراسری ریاضی ۹۵، با اندکی تغییر)*



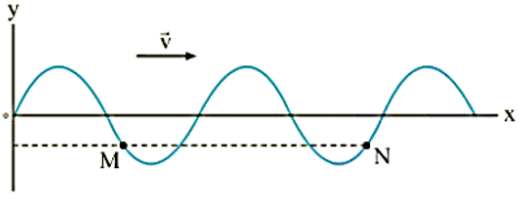
۱) سرعت آن‌ها در هر لحظه یکسان است.

۲) دامنه و بسامد یکسانی دارند.

۳) سرعت آن‌ها در هر لحظه قرینه است.

۴) هم‌گام‌اند و گزینه‌های ۱ و ۲ هر دو درست‌اند.

شکل روبه‌رو، موج عرضی را در طناب نشان می‌دهد. کدام مورد دربارهٔ دو نقطهٔ M و N از طناب درست است؟ *(سراسری ریاضی ۹۵، با اندکی تغییر)*



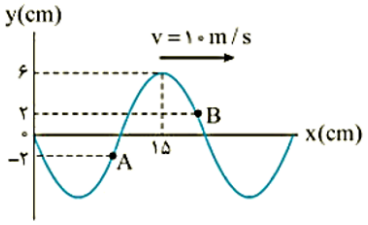
۱) سرعت آن‌ها در هر لحظه یکسان است.

۲) دامنه و بسامد یکسانی دارند.

۳) سرعت آن‌ها در هر لحظه قرینه است.

۴) هم‌گام‌اند و گزینه‌های ۱ و ۲ هر دو درست‌اند.

نقش یک موج عرضی در لحظهٔ $t=0$ مطابق شکل روبه‌رو است. چند ثانیه طول می‌کشد تا موج از A به B برسد؟ *(سراسری تجربی ۹۷)*



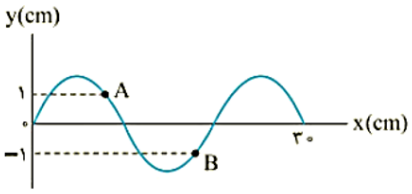
۱) $\frac{۱}{۵۰}$

۲) $\frac{۳}{۵۰}$

۳) $\frac{۱}{۱۰۰}$

۴) $\frac{۳}{۱۰۰}$

شکل روبه‌رو، نقش موجی را در لحظهٔ $t=0$ نشان می‌دهد. در لحظهٔ $t=\frac{۱}{۳۰۰}\,s$، بزرگی شتاب ذرهٔ A چند برابر بزرگی شتاب ذرهٔ B است؟ *(سراسری ریاضی ۹۳)*



۱) ۱

۲) $\frac{۱}{۲}$

۳) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$

۴) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$

انتقال انرژی در موج عرضی مکانیکی

- زمانی که یک موج عرضی (مانند موجی که روی یک طناب سوار شده است)، ایجاد می شود.
- هر جزء از محیط انتشار موج مانند طناب، شروع به حرکت می کند و کشیده می شود.
- به همین دلیل اجزای طناب دارای دو نوع انرژی خواهد بود:

انرژی جنبشی: این انرژی به دلیل حرکت اجزای طناب ایجاد می شود. دقت کنید این حرکت همان حرکت نوسانی اجزای طناب است که انرژی موج را به سمت جلو می برد.

انرژی پتانسیل: این انرژی در اثر کششی که در اجزای طناب ایجاد می شود، به وجود می آید.

- می دانیم به مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی، توان متوسط گفته می شود.
- توان متوسط در یک موج سینوسی مکانیکی با مربع بسامد و مربع دامنه نسبت مستقیم دارد.
- در نتیجه در یک مدت زمان معین، انرژی متنقل شده توسط موج مکانیکی با مربع بسامد و مربع دامنه رابطه مستقیم دارد.

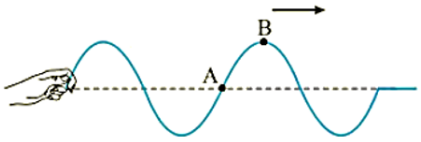
$$\overline{P} \propto A^2 f^2 \qquad E \propto A^2 f^2$$

- به عبارتی اگر دامنه یک موج مکانیکی را دو برابر کنیم، توان متوسط آن ۴ برابر می شود.

۹۸۸- آهنگ متوسط انرژی موج متناسب با کدام است؟ *(سراسری تجربی ۸۲)*

۱) دامنه ـ بسامد ۲) مجذور دامنه ـ مجذور بسامد ۳) مجذور دامنه ـ بسامد ۴) دامنه ـ مجذور بسامد

مطابق شکل مقابل، یک موج سینوسی در طول طنابی در حال انتشار است و A و B دو جزء با جرم برابر بر روی طناب هستند. انرژی جنبشی کدام جزء در لحظهٔ نشان داده شده بیشتر است؟ (از اتلاف انرژی، صرف‌نظر می‌شود.)



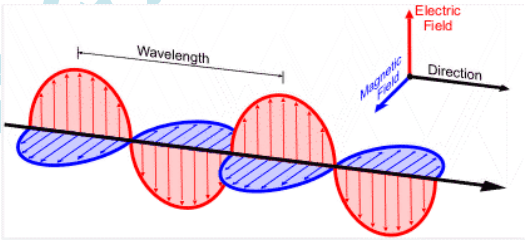
۱) A ۲) B ۳) برابر است. ۴) اظهارنظر قطعی ممکن نیست.

یک موج سینوسی در طول یک طناب پیش می‌رود. با تغییر چشمهٔ موج، طول موج ایجادشده در طناب، نصف و بیشینهٔ تندی نوسان ذرات طناب ۴ برابر می‌شود. انرژی منتقل‌شده توسط موج چند برابر می‌شود؟

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۸ ۴) ۱۶

امواج الکترومغناطیسی

- به پیشروی هم زمان میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی در فضا، «موج الکترومغناطیسی» گفته می شود.
- در یک موج الکترومغناطیسی، میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی عمود بر هم هستند. اما راستای انتشار آنها یکسان است.



منشاء میدان الکتریکی

میدان الکتریکی دو منشاء عمده دارد:

الف) بار الکتریکی: یک ذره باردار در اطراف خودش میدان الکتریکی ایجاد می کند. ($E = \frac{kq}{r^2}$)

ب) میدان مغناطیسی متغیر: مانند حرکت یک آهنربا در فضا

منشاء میدان مغناطیسی

میدان مغناطیسی می تواند سه منشاء عمده داشته باشد:

الف) آهن ربا

ب) جریان الکتریکی عبوری از یک سیم یا رسانا (توسط اورستد کشف شد.)

ج) میدان الکتریکی متغیر (پیش بینی ماکسول بود ولی توسط هرتز کشف شد.)، مانند حرکت یک ذره باردار در فضا

منشاء امواج الکترومغناطیسی

- بنابراین میدان الکتریکی متغیر می تواند میدان مغناطیسی ایجاد کند و همچنین میدان مغناطیسی متغیر می تواند میدان الکتریکی ایجاد کند.
- بنابراین انتظار داریم اگر یک ذره باردار مانند یک الکترون در فضا شتاب بگیرد و با حرکت شتابدار، حرکت کند، هم میدان مغناطیسی و هم میدان الکتریکی از خودش ایجاد کرده و گسیل کند.
- این میدان الکتریکی و مغناطیسی که با هم در فضا حرکت کرده و عمود بر هم هستند و انرژی را منتقل می کنند، همان موج الکترومغناطیسی می باشند.

بنابراین:

امواج الکترومغناطیسی می توانند توسط موارد زیر ایجاد شوند:

الف) انتقال بین سطوح انرژی:

- برای مثال الکترون ها از یک لایه به لایه پایین تر حرکت می کنند.
- یا اینکه ذرات سازنده هسته (موسوم به نوکلئون) از یک حالت انرژی بالاتر به حالت انرژی پایین تر می روند.

ب) حرکت بارهای شتاب گرفته:

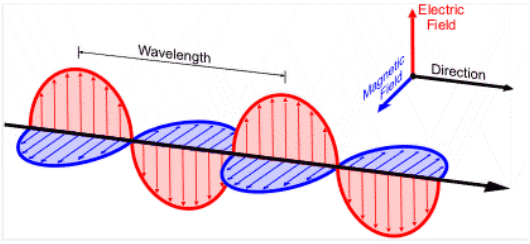
- هر ذره باردار شتاب داری، بخشی از انرژی خود را به صورت امواج الکترومغناطیسی تابش می کند.

تابش گرمایی

- به انتشار یا گسیل امواج الکترومغناطیسی توسط اجسام، تابش گرمایی، گفته می شود.
- دقت کنید تابش گرمایی در هر دمایی می تواند وجود داشته باشد.
- به عبارتی تابش گرمایی ویژه اجسام با سطح گرم نیست. بلکه حتی یخ هم دارای تابش گرمایی از سطح خودش می باشد.

ویژگی های امواج الکترومغناطیسی

- یک موج الکترومغناطیسی سینوسی در شکل زیر دیده می شود.



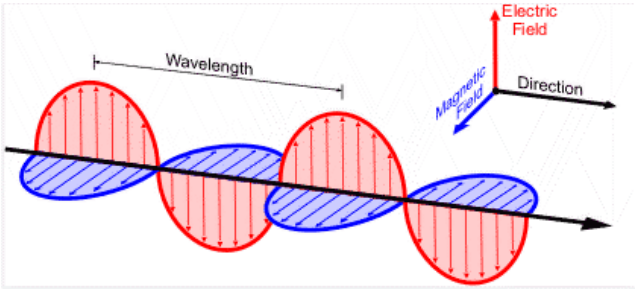
- امواج الکترومغناطیسی دارای ویژگی های مشترکی هستند که عبارتند از:

انتشار در خلأ

- امواج الکترومغناطیسی برخلاف امواج مکانیکی و صوتی، برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند.
- این امواج به راحتی و با سرعت بیشینه در خلأ حرکت کرده و منتشر می شوند.

میدان مغناطیسی و الکتریکی عمود

- در امواج الکترومغناطیسی، میدان های الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم هستند.
- به عبارتی راستای ارتعاش میدان معناطیسی و الکتریکی عمود است اما راستای انتشار هر دو میدان بر هم منطبق بوده و موازی هستند.



همگامی میدان ها

- در امواج الکترومغناطیسی، میدان های الکتریکی و مغناطیسی هم بسامد هستند.
- به عبارتی دوره تناوب، بسامد زاویه ای و بسامد میدان الکتریکی و مغناطیسی با هم برابر است.
- این یعنی، دو تا میدان الکتریکی و مغناطیسی، همگام هستند و با هم تغییر می کنند.
- به این معنی که در یک نقطه از فضا، هر دو میدان با هم بیشینه و با هم کمینه شده و به صفر می رسند.
- اصطلاحاً گفته می شود، دو میدان الکتریکی و مغناطیسی هم فاز هستند.

فاصله نقاط هم فاز یا فاز مخالف

- با توجه به اینکه میدان های الکتریکی و مغناطیسی در یک موج الکترومغناطیسی تغییرات هماهنگ دارند، کمیت های مشترکی را می توان به این دو میدان نسبت داد.
- فاصله دو نقطه هم فاز متوالی چه در میدان الکتریکی و چه در میدان مغناطیسی برابر با طول موج است.
- فاصله دو نقطه متوالی در فاز مخالف در هر دو میدان برابر با نصف طول موج است.

تندی برابر خلأ

- همه امواج الکترومغناطیسی با تندی یکسان در خلأ منتشر می شود.
- سرعت امواج الکترومغناطیسی در خلأ برابر با $c = 3 \times 10^8\ m/s$ می باشد.
- تندی امواج الکترومغناطیسی در محیط های مادی، کمتر از سرعت آن در خلأ می باشد.
- دقت کنید:
- امواج الکترومغناطیسی مجموعه ای از امواج مختلف مانند امواج مرئی، فروسرخ، فرابنفش و ... می باشد.
- سرعت همه امواج الکترومغناطیسی در خلأ یکسان است اما سرعت این امواج در محیط های مادی با یکدیگر متفاوت است.

بسامد و دوره تناوب

- مانند سایر امواج، زمان یک نوسان کامل میدان الکتریکی یا نوسان کامل میدان مغناطیسی برابر با «دوره» یا «دوره تناوب» می باشد.
- همچنین مانند سایر امواج، به تعداد نوسان های میدان الکتریکی (یا میدان مغناطیسی) در واحد زمان (یک ثانیه) بسامد گفته می شود.

طول موج امواج الکترومغناطیسی

- مشابه سایر امواج، به مسافتی که موج در یک نوسان کامل طی می کند، طول موج گفته می شود.
- طول موج را می توان از رابطه زیر به دست آورد:

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

- تندی انتشار همه نواحی امواج الکترومغناطیس در خلأ برابر با $c = 3 \times 10^8\ m/s$ است.
- بنابراین در خلأ می توان رابطه زیر را برای همه امواج الکترومغناطیس نوشت:

$$\lambda = c.T = \frac{c}{f}$$

موج رادیویی با بسامد ۳۰ مگاهرتز، در فضا پخش می شود، طول آن چند متر است؟ ($c = 3 \times 10^5\ km/s$) (سراسری ریاضی ۸۶)

۱) ۱ ۲) ۳ ۳) ۱۰۰ ۴) ۳۰۰

محاسبه تندی انتشار نور در خلأ

- برای اولین بار، ماکسول موفق شد تندی امواج الکترومغناطیسی را در خلأ با رابطه نظری زیر بیان کند:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}$$

در این رابطه:

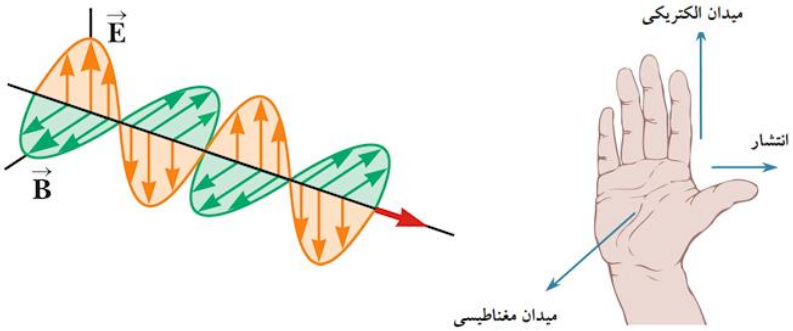
- ε_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ می باشد.
- μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ می باشد.

$$\varepsilon_o \approx 8.85 \times 10^{-12} C^2/N.m^2$$
$$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$$

- اگر مقادیر فوق را در داخل رابطه قرار دهیم، سرعت موج الکترومغناطیسی در خلأ برابر با $3 \times 10^8\ m/s$ خواهد شد.

تعیین جهت انتشار موج الکترومغناطیسی

- برای تعیین جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی، از قاعده دست راست استفاده می کنیم.
- کف دست راست را در جهت میدان مغناطیسی قرار دهید به گونه ای که خطوط میدان مغناطیسی از کف دست راست خارج شود.
- چهار انگشت دست راست را در جهت میدان الکتریکی قرار دهید.
- در این حالت انگشت شست در جهت انتشار موج قرار می گیرد.



ماهیت نور

- قبل از ماکسول، دانشمندی به نام «لوئیس فیزو» به روش تجربی، سرعت نور را در خلأ به دست آورده بود.
- فیزو، مقدار سرعت نور را معادل $3 \times 10^8\ m/s$ و مشابه عددی که ماکسول از نظر تئوری به دست آورده بود، محاسبه کرده بود.
- ماکسول، از برابری تندی انتشار نور و امواج الکترومغناطیسی در خلأ نتیجه گرفت، نور یک موج الکترومغناطیسی است.
- بنابراین:
- نور، موج الکترومغناطیسی است.

ماهیت امواج رادیویی، آزمایش هرتز

- می دانیم حرکت شتابدار ذرات باردار، باعث تولید امواج الکترومغناطیسی می شود.
- هرتز، بارهای الکتریکی روی میله ای را بسامد بالا به نوسان در آورد.
- این حرکت شتابدار بارها، باعث ایجاد امواجی به نام امواج رادیویی شد.
- هرتز تندی امواج رادیویی را اندازه گیری کرد و متوجه شد تندی این امواج با تندی نور مرئی (امواج الکترمغناطیسی) برابر است.
- بنابراین، هرتز از این آزمایش نتیجه گرفت: امواج رادیویی و نور مرئی ماهیت یکسانی دارند و هر دو جزء امواج الکترومغناطیسی هستند.
- در حقیقت، آزمایشات هرتز، تاییدی بر نظریه ماکسول در یکسانی نور و امواج الکترومغناطیسی بود.

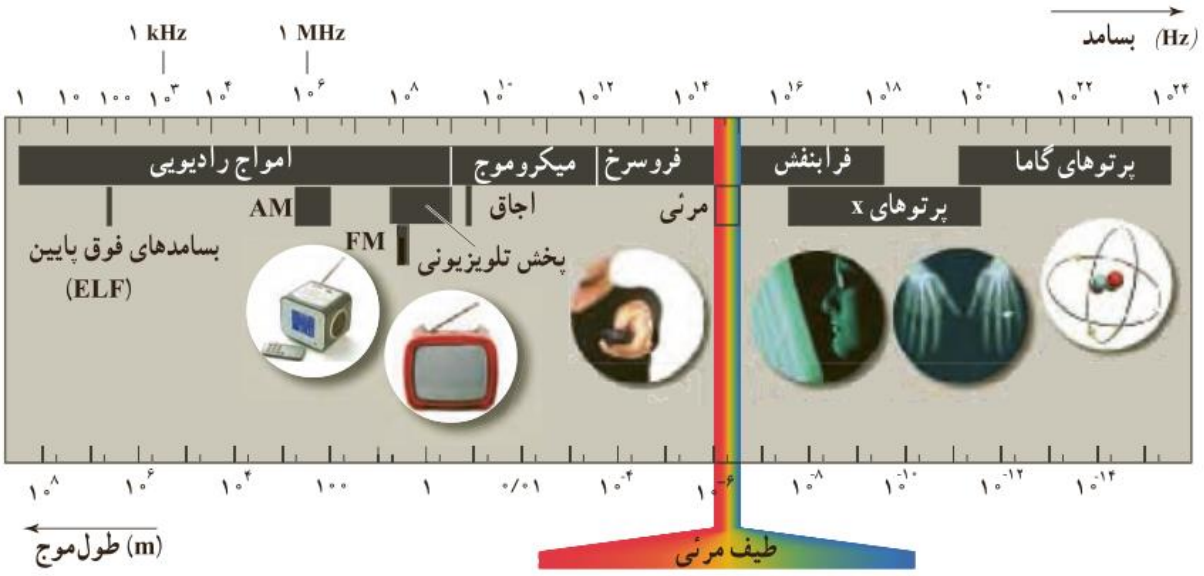
طیف امواج الکترومغناطیسی

- امواج الکترومغناطیسی از یک طیف گسترده ای از طول موج ها تشکیل شده است.
- به بخشی از امواج الکترومغناطیسی که از نظر تولید و آشکارسازی یکسان می باشد، ناحیه گفته می شود.
- نحوه تولید و آشکارسازی نواحی مختلف از طیف الکترومغناطیسی با هم متفاوت است.
- دقت کنید: طیف امواج الکترومغناطیسی یک طیف پیوسته است و هیچ گسستی در آن وجود ندارد، یعنی نواحی مختلف آن از هم جدا نیستند و مرز بین آنها مشخص نیست.

نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی

- امروزه طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی شناخته شده است.
- این طیف شامل نواحی مختلف می باشد از جمله: امواج رادیویی، میکروموج، فروسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای ایکس و پرتوهای گاما
- امواج رادیویی کمترین بسامد، کمترین انرژی و بالاترین طول موج را در میان طیف دارد.

- امواج گاما بالاترین بسامد، بالاترین انرژی و کمترین طول موج را دارد.



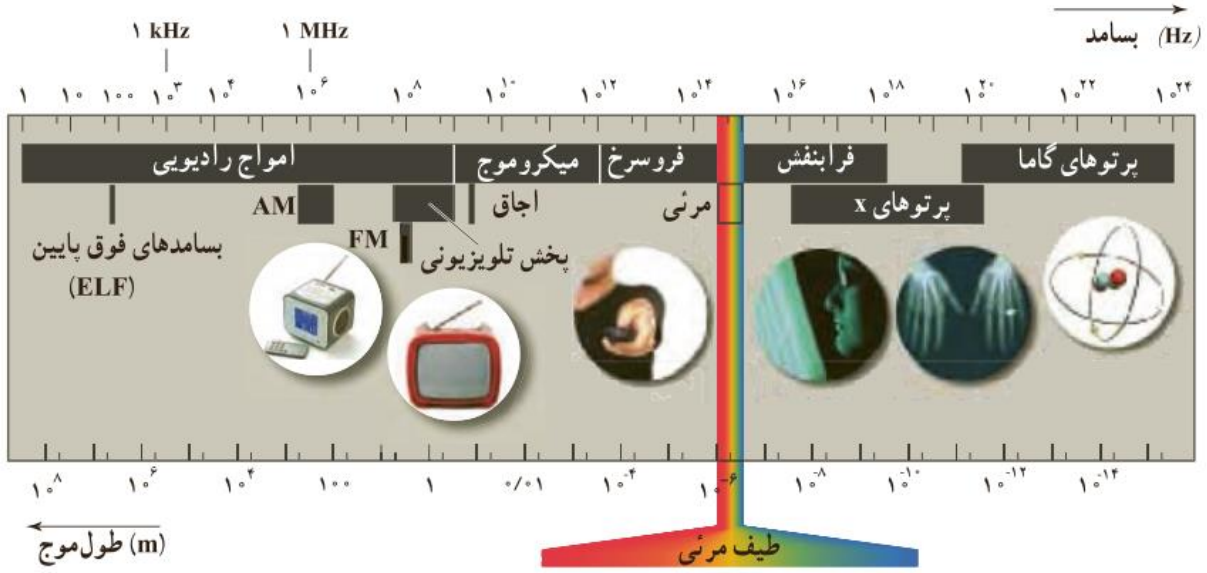
شباهت ها و تفاوت های نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی

- نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی از نظر منبع یا نحوه تولید و از نظر آشکارسازی با هم تفاوت دارند.
- طول موج نواحی، بسامد آنها، دوره تناوب، بسامد زاویه ای آنها با هم متفاوت است.
- تندی همه نواحی امواج الکترومغناطیسی در خلأ یکسان است. و همگی با تندی نور در خلأ حرکت می کنند.
- اما تندی این نواحی در محیط غیرخلأ یکسان نیست و با هم تفاوت دارد.

- تنها امواجی که طول موج آن ها از ۱ متر بیشتر می شود، امواج رادیویی هستند.
- طول موج امواج مرئی و فرابنفش در مقیاس نانومتر است.
- طول موج امواج فروسرخ عمدتاً در مقیاس میکرومتر است.

کاربرد نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی

- امواج رادیویی به چند ناحیه (بسامدهای فوق پایین، AM و FM و پخش تلویزیونی و ...) تقسیم بندی می شود.
- امواج رادیویی برای پخش تلویزیونی و رادیو کاربرد دارند.
- امواج AM دارای طول موج بیشتر از ناحیه FM هستند.
- امواج پخش تلویزیون طول موج کمتر از امواج پخش رادیویی دارند.



- امواج فروسرخ برای کنترل تلویزیون (کنترل از راه دور) به کار می رود.
- فرابنفش، همان امواجی است که برای سولاریوم پوست استفاده می شود.
- پرتوهای ایکس برای عکس برداری از بافت های بدن استفاده می شود.
- پرتوهای گاما از نوع واپاشی هسته ای می باشند که برای درمان سرطان و از بین بردن یاخته های سرطانی استفاده می شود. (روش پرتودرمانی)

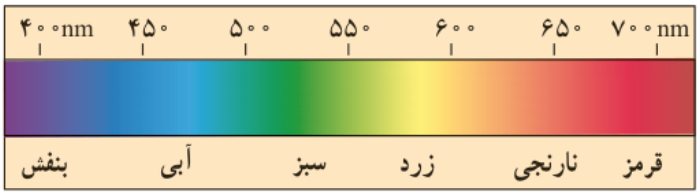
نام موج	برخی کاربردها
امواج رادیویی **طول موج بیشتر از یک متر**	• ایستگاه های رادیویی • ایستگاه های تلویزیونی • از ستارگان مختلف منتشر می شود. • رادارها (ردیابی هواپیماها و کشتی ها)
میکروموج (ریز موج) **طول موج در حد سانتی متر (یک صدم متر)**	• اجاق های میکروموج (مایکروفر ها) • در وای فای برای اینترنت و ...
فروسرخ **طول موج در حد دهم میلی متر (یک ده هزارم متر)**	• از اجسام داغ حتی بدن انسان منتشر می شود. • برای گرم کردن از آن استفاده می شود. • در سطح پوست جذب می شود پس پوست را گرم می کند. • در فیلم برداری و عکاسی فروسرخ (IR) دید در شب استفاده می شود.
نور مرئی **طول موج در محدوده ۳۸۰ نانومتر تا ۷۵۰ نانومتر**	• با چشم غیرمسلح دیده می شود. • برای رشد گیاهان و عمل فتوسنتز نقش اصلی را دارد.
فرابنفش **در حد 10^{-8} متر**	• در پزشکی کاربرد دارد • به طور مستقیم برای بدن مضر است. • باعث سوختن پوست شده و اثر مخرب روی چشم دارد. • این موج توسط شیشه جذب می شود.
پرتو ایکس	• تصویربرداری پزشکی و پرتودرمانی

در حد 10^{-10} متر	• فوتون های این نوع موج، قوی و خطرناک است.
پرتو گاما **در حد 10^{-12} متر**	• برای از بین بردن بافت های سرطانی استفاده می شود. • برای ضدعفونی کردن تجهیزات پزشکی کاربرد دارد. • برای پیدا کردن ترک در فلزات استفاده می شود. • فوتون های این نوع موج همانند پرتوایکس خطرناک است. و خطر آن بیشتر از پرتو ایکس است.

- ناحیه پرتوهای ایکس با فرابنفش و گاما همپوشانی دارد.
- از نظر مکانیسم تولید و نحوه آشکارسازی، پرتوهای ایکس با فرابنفش تفاوت دارند.
- ناحیه مرئی بین فروسرخ و فرابنفش قرار دارد.

طیف مرئی

- به ناحیه ای از امواج الکترومغناطیسی که توسط چشم انسان قابل رؤیت است، طیف مرئی گفته می شود.
- طیف مرئی از بنفش (کمترین طول موج در ناحیه مرئی) شروع شده و به قرمز (بالاترین طول موج ناحیه مرئی) ختم می شود.



- در طیف مرئی هرچه به سمت بنفش می رویم، طول موج کاهش، انرژی افزایش و بسامد هم افزایش می یابد.
- طول موج قرمز حدد ۷۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر و طول موج بنفش حدود ۳۸۰ تا ۴۰۰ نانومتر است.

فوتون

- به ذرات سازنده نور (ذرات تشکیل دهنده موج نور) فوتون گفته می شود.
- انرژی فوتون های هر موج با بسامد آن موج نسبت مستقیم دارد.
- انرژی فوتون های هر موج با طول موج آن رابطه معکوس دارد.
- ترتیب انرژی های فوتون های امواج الکترومغناطیسی به صورت زیر است:

گاما > ایکس > فرابنفش > مرئی (بنفش > نیلی > آبی > سبز > زرد > نارنجی > قرمز) > فروسرخ > میکروموج > رادیویی

- در موج الکترومغناطیسی، .....

۱) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مستقل از یکدیگر می‌باشند.

۲) تغییر هر یک از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی، باعث ایجاد میدان دیگر می‌شود.

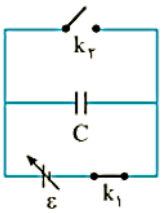
۳) فقط تغییر میدان مغناطیسی، باعث ایجاد میدان الکتریکی می‌شود.

۴) فقط تغییر میدان الکتریکی، باعث ایجاد میدان مغناطیسی می‌شود.

- کدام‌یک از موارد زیر، منشأ میدان الکتریکی نیست؟

۱) بار الکتریکی ساکن ۲) بار الکتریکی متحرک ۳) میدان مغناطیسی متغیر ۴) خازن

- در شکل مقابل، در چه صورت، موج الکترومغناطیسی ایجاد نمی‌شود؟



۱) کلید k_1 را باز کنیم.

۲) کلید k_2 را ببندیم.

۳) نیروی محرکهٔ مولد را افزایش دهیم.

۴) کلید k_1 را باز و کلید k_2 را ببندیم.

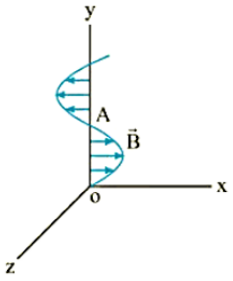
- ویژگی مشترک موج‌های الکترومغناطیسی کدام است؟

۱) طولی بودن امواج ۲) تساوی تندی آن‌ها در خلأ ۳) حامل بار الکتریکی بودن ۴) عدم جذب به وسیلهٔ ماده

دامنهٔ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در یک موج الکترومغناطیسی، به ترتیب E_m و B_m است. حداکثر نیرویی که این موج به بار ساکن q وارد می‌کند، کدام است؟

۱) $q(B_m + E_m)$ ۲) $q\sqrt{E_m^2 + B_m^2}$ ۳) qB_m ۴) qE_m

شکل مقابل، نمودار تغییرات میدان مغناطیسی یک موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که در صفحهٔ xoy و در جهت محور y منتشر می‌شود. میدان الکتریکی در فاصلهٔ oA، در کدام جهت است؟



۱) $+x$

۲) $-x$

۳) $+z$

۴) $-z$

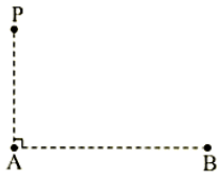
جهت انتشار یک موج الکترومغناطیسی در لحظهٔ t در جهت مثبت محور z است. اگر در این لحظه، معادلهٔ میدان الکتریکی در SI به صورت $\vec{E} = m\vec{i} - 9\vec{j}$ باشد و میدان مغناطیسی با جهت مثبت محور x زاویهٔ 53° بسازد، m کدام می‌تواند باشد؟ $(\sin 37^\circ = 0/6)$

۱) -12 ۲) -6 ۳) $4/5$ ۴) 18

در یک عمل جراحی چشم از پرتو لیزر که طول موج آن در هوا $0/6\ \mu m$ و بسامد آن f است، استفاده می‌شود. اگر طول موج این پرتو در زجاجیهٔ چشم $\lambda' = 0/45\ \mu m$ و سرعت انتشار نور در هوا $3\times10^8\ m/s$ باشد، بسامد و سرعت انتشار این پرتو در زجاجیه، در SI به ترتیب کدام‌اند؟ *(سراسری تجربی خارج ۹۸)*

۱) 5×10^{14} و 3×10^8 ۲) 5×10^{14} و $2/25\times10^8$

۳) $3/75\times10^{14}$ و 3×10^8 ۴) $3/75\times10^{14}$ و $2/25\times10^8$

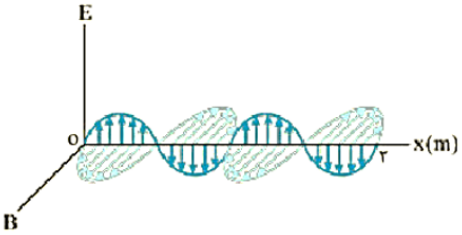


مطابق شکل روبه‌رو، دو ایستگاه رادیویی A و B به فاصلهٔ 80 km از هم قرار دارند و هر یک سیگنالی را گسیل می‌کنند. گیرندهٔ P که در فاصلهٔ 60 km از A قرار دارد، این دو سیگنال را با اختلاف زمانی چند ثانیه دریافت می‌کند؟ $(c = 3\times10^8\ m/s)$ *(سراسری ریاضی ۹۶)*

۱) $\frac{4}{3}\times10^{-4}$ ۲) $\frac{4}{3}\times10^{-7}$

۳) $\frac{2}{3}\times10^{-4}$ ۴) $\frac{2}{3}\times10^{-7}$

نمودار میدان الکترومغناطیسی برحسب مکان یک موج الکترومغناطیسی که در خلأ منتشر می‌شود، مطابق شکل روبه‌رو است. کدام مورد با توجه به نمودار درست است؟ $(c = 3\times10^8\ m/s)$ *(سراسری ریاضی ۹۷، با اندکی تغییر)*



۱) طول موج ۰/۵ متر است.

۲) دورهٔ موج یک ثانیه است.

۳) بسامد زاویه‌ای موج $3\pi\times10^8\ rad/s$ است.

۴) بسامد موج $3\times10^8\ Hz$ است.

اگر تندی نور در خلأ $3\times10^8\ m/s$ و تراوایی مغناطیسی خلأ $12/5\times10^{-7}\ T.m/A$ باشد، ضریب گذردهی الکتریکی خلأ چند $C^2/N.m^2$ است؟

۱) $\frac{4}{15}\times10^{-2}$ ۲) 72×10^{13} ۳) $\frac{8}{9}\times10^{-11}$ ۴) $\frac{9}{8}\times10^{-11}$

در طیف موج‌های الکترومغناطیسی، بیشترین بسامد مربوط به ..... و بلندترین طول موج مربوط به ..... است.

۱) نور بنفش ـ نور قرمز
۲) موج‌های رادیویی ـ اشعهٔ ایکس
۳) پرتو گاما ـ موج‌های فروسرخ
۴) پرتو گاما ـ موج‌های رادیویی و مخابراتی

(سراسری تجربی خارج ۹۱)

کدام کمیت مربوط به موج رادیویی باند AM ، در مقایسه با امواج رادیویی باند FM بیشتر است؟

۱) طول موج
۲) بسامد
۳) تندی انتشار در خلأ
۴) کوانتوم انرژی

(سراسری ریاضی خارج ۹۳)

تفاضل بسامدهای دو موج الکترومغناطیسی A و B، $1/2\times10^{15}$ Hz و نسبت طول موج آن‌ها در خلأ $\frac{\lambda_B}{\lambda_A}=5$ است. موج‌های A و B به ترتیب، از راست به چپ، از کدام نوع‌اند؟

۱) فرابنفش ـ مرئی
۲) فرابنفش ـ فروسرخ
۳) مرئی ـ فروسرخ
۴) مرئی ـ فرابنفش

در یک موج الکترومغناطیسی، در یک نقطهٔ دور از چشمهٔ موج، در لحظه‌ای میدان الکتریکی در جهت $-x$ و میدان مغناطیسی مربوط به آن در همان لحظه، در جهت $\vec{z}$ است. جهت انتشار موج الکترومغناطیسی کدام است؟

۱) $+y$
۲) $-y$
۳) $+x$
۴) $-x$

در یک ایستگاه رادیویی، موج الکترومغناطیسی با طول موج ۰/۳μm تولید می‌شود. بسامد این موج الکترومغناطیسی چند هرتز است؟

۱) 10^8
۲) 10^9
۳) 10^{12}
۴) 10^{15}

طول موج مربوط به دو موج الکترومغناطیسی در خلأ λ_1 و $\lambda_2=200\lambda_1$ است. چه ارتباطی بین بسامد این دو موج برقرار است؟

۱) $f_1=f_2$
۲) $f_1=200f_2$
۳) $f_2=200f_1$
۴) هر سه حالت ممکن است.

چه تعداد از عبارت‌های زیر درست هستند؟

آ) موج‌های الکترومغناطیسی در تمام محیط‌ها با تندی $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ منتشر می‌شوند.

ب) در یک نقطه از محیطی که در آن یک موج الکترومغناطیسی منتشر شده است، میدان الکتریکی بر میدان مغناطیسی عمود و هم‌راستا با جهت انتشار موج است.

پ) انرژی‌ای که توسط موج الکترومغناطیسی منتقل می‌شود، به‌صورت انرژی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است.

ت) در یک نقطه از موج الکترومغناطیسی، وقتی میدان الکتریکی بیشینه است، میدان مغناطیسی صفر است.

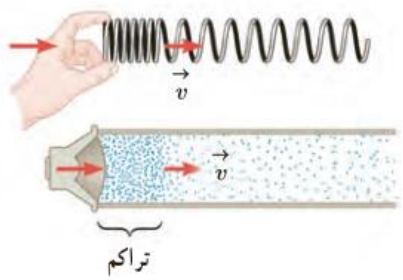
۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

موج صوتی

- به هر نوع موج مکانیکی طولی که در محیط منتشر می شود، موج صوتی گفته می شود.
- بنابراین، موج صوتی برخلاف موج الکترومغناطیسی، از نوع طولی است.
- سرعت امواج طولی در محیط مادی بیشتر از امواج عرضی (الکترومغناطیسی) است.

چشمه صوت

- هر جسم مرتعش در هوا، چشمه تولید یک موج صوتی است.
- برای مثال:
- زمانی که دیافراگم یک بلندگو به سمت جلو می رود، هوای مجاور آن، فشرده شده و فشار و چگالی آن نسبت به حالت تعادل افزایش می یابد.



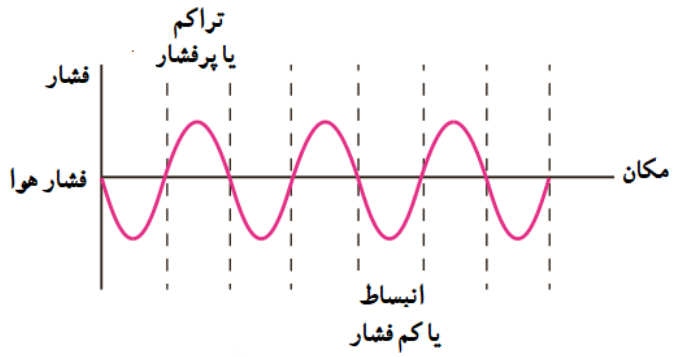
- به این ناحیه پرفشار، تپ تراکمی گفته می شود.
- این ناحیه تپ تراکمی همانند ناحیه تراکمی ایجاد شده در یک فنر می باشد و در فضا پیش می رود.

- زمانی که دیافراگم بلندگو به سمت عقب می رود، فاصله متوسط مولکول های هوا در اطراف آن افزایش می یابد در نتیجه فشار و چگالی هوا در آن منطقه نسبت به حالت تعادل کاهش می یابد.
- به این ناحیه کم فشار، تپ انبساطی گفته می شود.
- تپ انبساطی به دنبال تپ تراکمی در طول لوله به راه می افتد.

- به این ترتیب با نوسان دیافراگم بلندگو، نواحی پرفشار (تراکم یا تپ تراکمی) و نواحی کم فشار (تپ انبساطی) به طور متناوب پشت سر هم راه می افتند و قطاری از تپ های متوالی تراکمی و انبساطی در هوای داخل لوله ایجاد می شود.

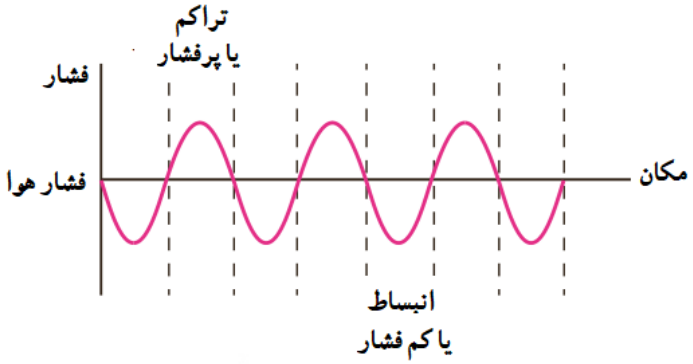
نمودار تغییرات فشار برحسب فاصله از چشمه صوت

- می توان نمودار تغییرات فشار یا چگالی هوا را برحسب فاصله از چشمه صوت در هنگام عبور یک موج صوتی از هوا در یک لحظه به صورت زیر ترسیم کرد.

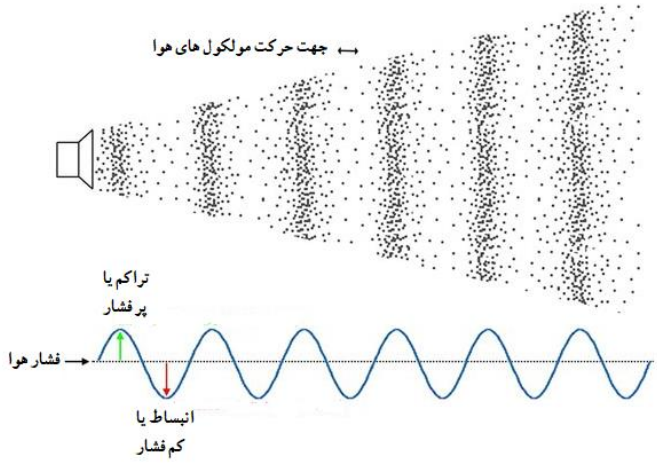


- دقت کنید، در نمودار فوق، محل قطع محور xها، فشار صفر نیست بلکه برابر با فشار هوا می باشد.
- همچنین در نقاط انبساط، فشار منفی نیست بلکه کمتر از فشار هوا می باشد. (فشار منفی معنی نداره)
- در نقاط تراکم، فشار بیشتر از فشار هوا می باشد.
- بنابراین می توان گفت تپ های تراکمی (با قله یک موج عرضی) و تپ های انبساطی (با دره یک موج عرضی) شبیه سازی می شوند.

رابطه فاصله تپ ها و طول موج

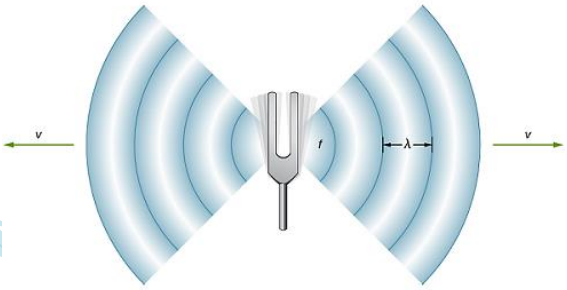


- فاصله بین دو تپ تراکمی متوالی یا دو تپ انبساطی متوالی، برابر با طول موج است.
- فاصله وسط یک تپ تراکمی با وسط تپ انبساطی مجاروش، برابر با نصف طول موج می باشد.



چشمه صوت و موج کروی

- اگر چشمه صوت، امواج صوتی را به طور یکنواخت در فضا پخش کند، جبهه های موج آن به شکل کره هایی که چشمه در مرکز آن کره ها قرار دارد، در همه جهات منتشر می شوند.



بسامد صوت

- می دانیم صوت یک موج طولی است. که در اثر نوسان یک جسم ایجاد می شود. (چشمه صوت)
- یعنی در امواج صوتی، ذرات محیط به سمت عقب و جلو یعنی در راستای انتشار موج، نوسان می کنند.

- هر نوسان (رفت و برگشت) چشمه صوت باعث ایجاد لایه های تراکمی و انبساطی می شود.
- نتیجه اینکه تعداد تپ های تراکمی یا تپ های انبساطی که در واحد زمان تولید می شود، برابر با تعداد نوسانات منبع صوت در واحد زمان می باشد.

تندی امواج صوتی

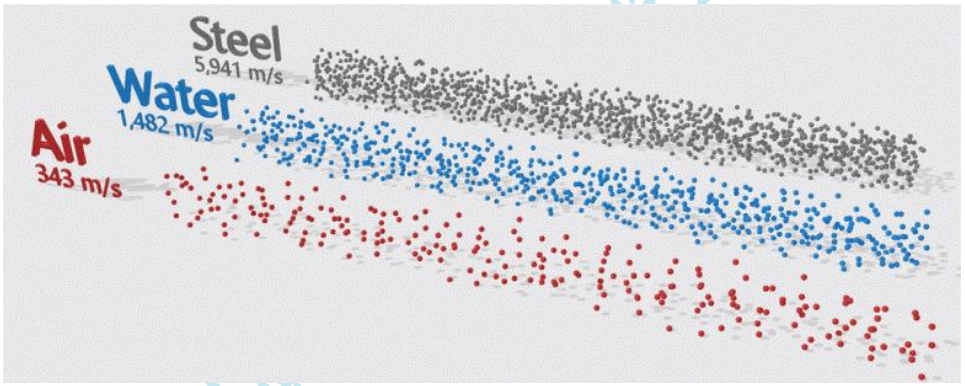
- صوت تابع قوانین امواج مکانیکی است.
- صوت با تندی ثابت در یک محیط یکنواخت منتشر می شود.
- بنابراین می توان برای صوت رابطه جابجایی با تندی ثابت را در نظر گرفت:

$$\Delta x = vt$$

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

وابستگی تندی انتشار صوت به مشخصات محیط

- تندی انتشار موج های صوتی (همانند دیگر امواج مکانیکی) فقط به ویژگی های فیزیکی محیط انتشار موج بستگی دارد.
- به عبارتی تندی انتشار صوت به ویژگی های چشمه تولید موج بستگی ندارد.
- معمولاً هرچه ماده متراکم تر باشد، تندی انتشار صوت در آن بیشتر است.
- به همین دلیل، تندی انتشار صوت در جامدها، از مایع ها و در مایع ها از گازها بیشتر است. (این موضوع استثنائاتی دارد)
- برای مثال سرعت صوت در آب حدود ۴/۳ برابر هوای ۲۰ درجه سلسیوس و در آهن حدود ۱۵ برابر هوای ۲۰ درجه سلسیوس می باشد.



وابستگی تندی صوت به دما

- تندی صوت علاوه بر جنس محیط، به دمای آن هم وابسته است.
- هرچه دمای یک محیط (با جنس مشخص) بیشتر باشد، تندی صوت در آن محیط بیشتر است.

نکات مهم در مورد مقایسه تندی صوت

به جداول زیر توجه کنید:

محیط	تندی (m/s)
گازها	
هوا (۰°C)	۳۳۱
هوا (۲۰°C)	۳۴۳
هلیم (۰°C)	۹۶۵
هیدروژن (۰°C)	۱۲۸۴

فشار همهٔ گازها ۱atm است.

محیط	تندی (m/s)
مایع‌ها	
متیل الکل (۲۵°C)	۱۱۴۳
آب (۰°C)	۱۴۰۲
آب (۲۰°C)	۱۴۸۲
آب دریا (۲۰°C و شوری ۳/۵٪)	۱۵۲۲

محیط	تندی (m/s)
جامدها	
فولاد	۵۹۴۱
گرانیت	۶۰۰۰
آلومینیم	۶۲۲۰

- با افزایش دما در یک محیط مشخص، تندی صوت افزایش می یابد.
- با افزایش تراکم یا چگالی یک محیط (مانند افزایش شوری آب دریا) تندی صوت افزایش می یابد.
- در گازها، تندی صوت با جذر دما رابطه مستقیم دارد.
- در گازها، تندی صوت با جذر جرم مولکول رابطه معکوس دارد.
- بنابراین انتظار داریم، در هیدروژن تندی صوت بیشتر از هلیم و در هلیم بیشتر از هوا باشد.

کدام‌یک از گزینه‌های زیر، در مورد امواج صوتی درست است؟

۱) به شکل دایره‌ای، در فضا منتشر می‌شوند.
۲) در خلأ منتشر می‌شوند.
۳) از نوع امواج مکانیکی طولی‌اند.
۴) در اثر انتقال ذرات هوا، در هوا منتشر می‌شوند.

شخصی به فاصلهٔ d از یک چشمهٔ صوتی قرار دارد. چشمهٔ صوتی صدایی با بسامد ۷۰۰ Hz در هوا منتشر می‌کند و کم‌ترین فاصلهٔ بین لایه‌های پرفشار و کم‌فشار هوا در اطراف آن ۲۵ cm است. اگر هفتادمین لایهٔ پرفشار هوا، صوت را به گوش شنونده برساند، برای این کار چند ثانیه زمان لازم است؟

۱) ۰/۱ ۲) ۰/۲ ۳) ۱ ۴) ۲

موج‌های صوتی A و B به ترتیب با بسامدهای ۶۰۰ هرتز و ۸۰۰ هرتز در یک محیط منتشر می‌شوند. نسبت تندی انتشار صوت A به تندی صوت B و هم‌چنین نسبت طول موج صوت A به طول موج صوت B، به ترتیب کدام‌اند؟ *(سراسری تجربی خارج ۸۶)*

۱) $\frac{۳}{۴}$ و ۱ ۲) $\frac{۴}{۳}$ و $\frac{۳}{۴}$ ۳) ۱ و $\frac{۳}{۴}$ ۴) ۱ و $\frac{۴}{۳}$

صوت حاصل از یک چشمهٔ ساکن، در مدت ۰/۴ ثانیه به یک دیوار برخورد کرده و به محل چشمه برمی‌گردد. اگر بسامد چشمهٔ صوت ۴۰ کیلوهرتز و طول موج ۸/۷۵ میلی‌متر باشد، فاصلهٔ چشمهٔ صوت تا دیوار چند متر است؟ *(سراسری تجربی ۹۵)*

۱) ۳۵ ۲) ۷۰ ۳) ۱۴۰ ۴) ۱۷۵

دو لولهٔ فلزی توخالی و کاملاً مشابه A و B به ترتیب در هوا و در آب قرار دارند. به یکی از دو انتهای لولهٔ A ضربه‌ای وارد می‌کنیم و در انتهای دیگر لوله، دو صدا با فاصلهٔ زمانی $2/7\ s$ اندازه‌گیری می‌کنیم. اگر همین کار را با لولهٔ B انجام دهیم و دو صدا با فاصلهٔ زمانی $0/3\ s$ اندازه‌گیری کنیم، به ترتیب طول لوله و تندی صوت در فلز چند واحد SI است؟ (تندی صوت در هوا و آب را به ترتیب $300\ m/s$ و $1500\ m/s$ فرض کنید.)

۱) ۲۵۰۰، ۵۰۰ ۲) ۳۰۰۰، ۵۰۰ ۳) ۲۵۰۰، ۹۰۰ ۴) ۳۰۰۰، ۹۰۰

توان صوت

- به مقدار انرژی صوتی که توسط یک چشمه صوت در مدت t تولید می شود، توان صوت گفته می شود.
- توان متوسط از رابطه زیر به دست می آید:

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

- در رابطه فوق، E مقدار انرژی تولید شده توسط چشمه صوت در مدت زمان t می باشد.
- واحد توان، وات یا ژول بر ثانیه می باشد.

شدت صوت

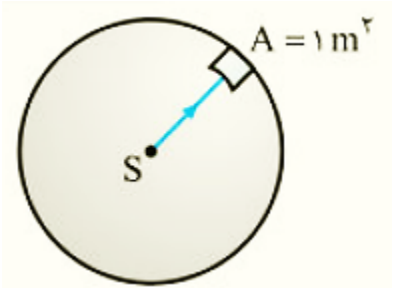
- شدت صوت برابر با مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان، از واحد سطح عمود بر راستای انتشار صوت می گذرد.
- شدت صوت را با نماد I نشان می دهیم.

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

- می دانیم مقدار انرژی در واحد زمان، همان توان است، بنابراین داریم:

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

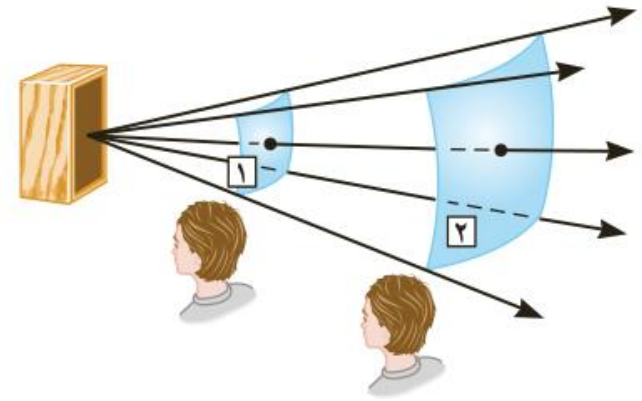
- واحد شدت صوت، در SI، وات بر متر مربع W/m^2 می باشد.



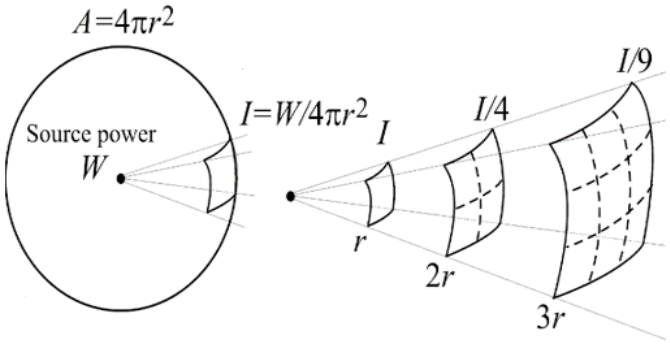
رابطه شدت و توان با فاصله از منبع صوت

- دقت کنید، با دور شدن از یک منبع صوت، توان آن ثابت باقی می ماند، زیرا توان عبارت است از مقدار انرژی که در واحد زمان توسط منبع صوت تولید می شود. و این ربطی به فاصله از منبع یا چشمه صوت ندارد.

- اما با دور شدن از یک منبع صوت، شدت آن کاهش می یابد. زیرا شدت صوت، همان توان صوت است که از واحد سطح عبور می کند.
- مانند شکل زیر، با دور شدن از یک منبع، صفحات بزرگتر شده در نتیجه شدت کاهش می یابد.



- در شکل فوق، توان منبع صوتی در مکان ۱ و ۲ با هم تفاوتی ندارد. اما شدت صوت در مکان ۲ کمتر از مکان ۱ خواهد بود.



شدت صوت در فاصله r از منبع

- جبهه های موج ارسالی از یک چشمه صوت، معمولاً به شکل کروی در تمام جهات پخش می شوند.
- بنابراین زمانی که می خواهید شدت صوت را در یک چشمه صوتی محاسبه کنید، در فرمول مورد نظر، به جای A، مساحت کره ای را قرار دهید که شعاع آن فاصله از چشمه صوت است.
- برای مثال، اگر می خواهید شدت صوت را در فاصله r از یک منبع صوت محاسبه کنید، به صورت زیر می نویسیم:

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

- مطابق رابطه فوق، شدت صوت با مربع فاصله از منبع رابطه عکس دارد.

$$I \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1}=\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

وابستگی شدت صوت به دامنه و بسامد

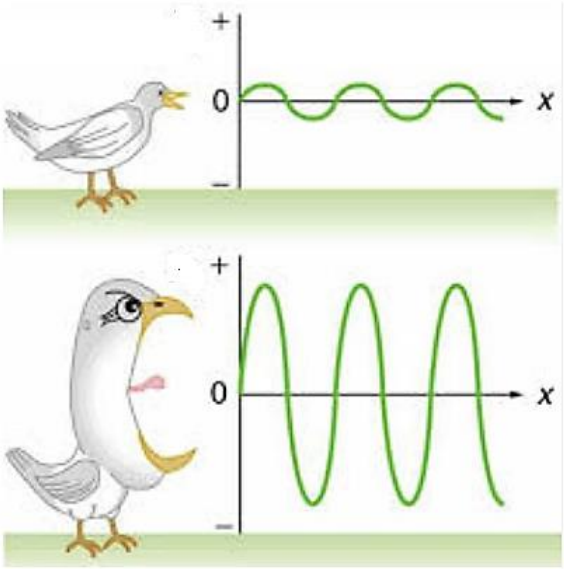
- همانند سایر امواج مکانیکی، انرژی امواج صوتی با مربع دامنه نوسان های چشمه موج رابطه مستقیم دارد.
- با مربع بسامد موج رابطه مستقیم دارد.

- با مربع فاصله از چشمه موج رابطه مستقیم دارد.
- بنابراین برای شدت موج صوتی می توان نوشت:

$$I \propto \frac{f^2A^2}{r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

- در رابطه فوق:
- f بسامد موج است.
- و A دامنه نوسان چشمه صوت است. دقت کنید A دامنه نوسان نقاط محیط انتشار صوت نیست.
- به عبارتی اگر مشخصات منبع چشمه موج تغییر نکند، دامنه نوسان چشمه یعنی A ثابت است.

$$I \propto \frac{f^2A^2}{r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$



رابطه دامنه نوسان ذرات محیط در موج صوتی

- در یک موج صوتی (موج طولی) ذرات محیط در راستای انتشار موج به سمت عقب و جلو نوسان می کنند.
- این نوسان ذرات، دارای یک دامنه نوسان است.
- در حقیقت، در موج صوتی ما دو نوع دامنه داریم:
  - دامنه چشمه موج
  - و دامنه نوسان ذرات محیط
- دامنه نوسان ذرات محیط، با افزایش فاصله از چشمه موج کاهش می یابد.

- اگر فرض کنیم یک ذره در مکان N داریم، می توان دامنه نوسان آن را با AN نشان داد. و اگر ذره ای دیگر در مکان M داشته باشیم، دامنه نوسان آن با AM نشان داده می شود.

$$\frac{A_N}{A_M} = \frac{r_M}{r_N}$$

- رابطه فوق به شرطی برقرار است که در محیط اتلاف انرژی نداشته باشیم. در این حالت با دور شدن از چشمه موج، دامنه نوسان ذرات کاهش می یابد.

- همین عامل باعث می شود حتی اگر مشخصات چشمه موج مانند بسامد و دامنه نوسان چشمه موج ثابت باشد، باز هم با دور شدن از چشمه صوت، شدت یا انرژی کاهش یابد.
- بنابراین در حقیقت در فرمول مربوط به واستگی شدت به بسامد و دامنه و فاصله، A دامنه نوسان منبع صوت می باشد. و تغییرات دامنه نوسان ذرات محیط، خود را در رابطه $(r_1/r_2)^2$ نشان داده است.

$$I \propto \frac{f^2A^2}{r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

آستانه شنوایی

- کم ترین شدت صوتی که گوش انسان می تواند بشنود، آستانه شنوایی نامیده می شود.
- آستانه شنوایی به دو عامل مهم وابسته است:
  - حساسیت گوش شنونده
  - بسامد صوت

شدت مرجع

- برای گوش سالم، در بسامد 1000 Hz آستانه شنوایی تقریباً برابر با 10^{-12} W/m^2 است.
- به این عدد، شدت مرجع گفته می شود.
- شدت مرجع را با نماد I_o نشان می دهیم.

$$I_o = 10^{-12}\ W/m^2 = 10^{-6}\mu W/m^2$$

به دیاپازونی در آزمایش (۱) ضربه آرام و در آزمایش (۲) ضربه محکم‌تری می‌زنیم. اگر بسامد شنیده‌شده در آزمایش (۱) برابر f_1 و در آزمایش (۲) برابر f_2 باشد و شدت صوت شنیده‌شده در آزمایش (۱) برابر k_1 و در آزمایش (۲) برابر k_2 باشد، کدام گزینه دربارهٔ مقایسهٔ پارامترهای f و k درست است؟

۱) $k_1 = k_2 ،f_1 = f_2$

۲) $k_1 < k_2 ،f_2 > f_1$

۳) $k_1 < k_2 ،f_1 = f_2$

۴) $k_2 = k_1 ،f_2 > f_1$

شدت صوتی در فاصلهٔ d از منبع صوت برابر با I است. اگر فاصله از منبع صوتی ۳ برابر شود، شدت صوتی که به شنونده می‌رسد ۹۰ درصد کاهش یافته است. در این تغییر فاصله چند درصد از انرژی صوتی جذب هوا شده است؟

۱) ۱۰ درصد

۲) ۲۵ درصد

۳) ۵۰ درصد

۴) ۷۵ درصد

توان متوسط یک چشمهٔ صوت $۶\,W$ است. در یک فضای باز، شنونده‌ای در فاصلهٔ ۱۰ متری از این چشمه قرار دارد و سطح مقطع پردهٔ گوش این شنونده $۱\,cm^۲$ است. اگر در هر ثانیه، $۰/۴\,\mu J$ انرژی به پردهٔ یکی از گوش‌های این شخص برسد، در انتشار صوت در این فاصله، چند درصد از توان منبع، توسط محیط جذب شده است؟ $(\pi \simeq ۳)$

۱) ۱۰
۲) ۲۰
۳) ۲۵
۴) ۳۰

شدت صوت حاصل از یک چشمهٔ صوتی در فاصلهٔ d از آن، برابر $۵\,W/m^۲$ است. اگر طول موج صوت را نصف و دامنهٔ آن را دو برابر کنیم، شدت صوت چشمه در فاصلهٔ d از آن چند وات بر مترمربع می‌شود؟ (محیط انتشار صوت تغییر نکرده است.)

۱) ۵
۲) ۲۰
۳) ۴۰
۴) ۸۰

صفحه‌ای به مساحت $۲۰\,cm^۲$ در فاصلهٔ ۱۰ متری از یک منبع صوت با توان $۲۰\,W$ به‌صورت عمود بر راستای انتشار صوت قرار دارد. در هر دقیقه چند میلی ژول انرژی صوتی به این صفحه می‌رسد؟ $(\pi \simeq ۳)$

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

شخصی به فاصلهٔ یک متری بلندگویی به توان $۴۸\,W$ ایستاده است. این شخص حداقل چند متر دیگر از بلندگو دور شود تا صدای آن را بدون اینکه گوش او به درد آید، بشنود؟ (آستانهٔ دردناکی $۱\,W/m^۲$ و $\pi = ۳$ در نظر گرفته شوند)

۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

توان مصرفی یک بلندگو $۱۲۰\,W$ است و بازدهٔ بلندگو در تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی صوتی ۱۰۰٪ است. در چه فاصله‌ای از این بلندگو (برحسب متر)، شدت صوت حاصل از بلندگو $۰/۴\,W/m^۲$ است؟ $(\pi = ۳)$

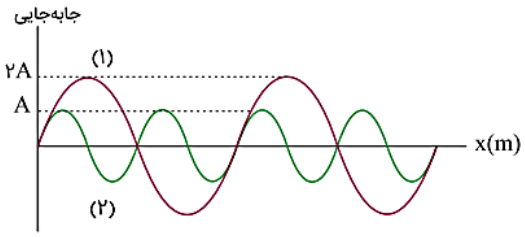
۱) ۵
۲) $۵\sqrt{۲}$
۳) ۱۰
۴) ۵۰

شخصی به یک سر لولهٔ فلزی بلندی به طول $۶۸\,m$ ضربه‌ای می‌زند. شخص دیگری که در انتهای لولهٔ فلزی قرار دارد، دو صدا به فاصله‌های زمانی ۰/۱ ثانیه می‌شنود. اگر تندی صوت در هوای درون لوله $۳۴۰\,m/s$ باشد، تندی صوت در فلز لوله چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱۷۰ ۲) ۶۸۰

۳) ۱۰۲۰ ۴) ۱۳۶۰

نمودار جابه‌جایی- مکان دو موج صوتی که در یک محیط منتشر شده است، به‌صورت شکل زیر است. شدت صوت موج صوتی (۱) در فاصلهٔ ۲ متری از منبع صوت موج (۱) چند برابر شدت صوت موج صوتی (۲) در فاصلهٔ ۴ متری از منبع صوت موج (۲) است؟ (دامنهٔ نوسان ذرات محیط با پیشروی موج ثابت است.)



۱) ۱ ۲) ۲

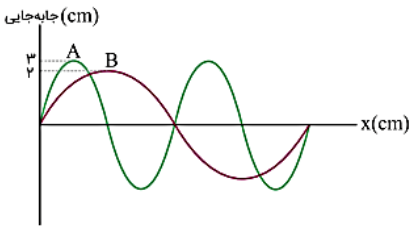
۳) ۴ ۴) ۸

صفحه‌ای دایره‌ای به شعاع $۵\,mm$ در فاصلهٔ ۲۰ متری از یک منبع صوت که جبهه‌های موج صوتی را به‌صورت کره‌هایی در فضا منتشر می‌کند، به‌صورت عمود بر راستای انتشار صوت قرار دارد. اگر در هر دقیقه، ۳۰ میکروژول انرژی صوتی به این صفحه برسد، توان منبع صوت چند وات است؟ ($\pi \simeq ۳$ و از اتلاف انرژی صرف‌نظر شود.)

۱) ۸ ۲) ۱۶

۳) ۳۲ ۴) ۶۴

نمودار جابه‌جایی- مکان دو موج صوتی A , B که درون یک لوله صوتی به‌صورت جداگانه منتشر شده‌اند، مطابق شکل زیر است. بسامد و شدت صوت A به ترتیب از راست به چپ چندبرابر بسامد و شدت صوت B است؟



۱) ۳،۱ ۲) ۳،۲

۳) ۹،۱ ۴) ۹،۲

- فاصلهٔ شنونده‌ای از منبع صوت دو برابر شده است. اگر دامنهٔ نوسان در منبع نیز دو برابر شود، شدت صوت برای شنونده چند برابر می‌شود؟

۱) ۲ ۲) ۱ ۳) $\frac{۱}{۲}$ ۴) $\frac{۱}{۴}$ *(سراسری ریاضی قدیمی)*

تراز شدت صوت

- بلندی یک صوت متناسب با شدت آن نیست.
- برای مثال اگر صدای یک فریاد زدن یا جیغ زدن معادل ۱۰ هزار برابر شدت صوت در حال حرف زدن معمولی باشد، به این معنا نیست که این صدا به اندازه ۱۰ هزار برابر بلند تر از صدای معمولی شنیده یا احساس می شود.
- در حقیقت گوش ما مانند یک تابع لگاریتمی عمل می کند. یعنی از 10^4 لگاریتم می گیرد، و صدای جیغ زدن را ۴ برابر صدای معمولی احساس یا درک می کند.
- برای اینکه یک دریافت ذهنی مناسب از بلندی صدا داشته باشیم، کمیتی به نام «**تراز شدت صوت**» تعریف می شود.
- تراز شدت صوت را با نماد بتا نشان می دهیم، واحد آن بل و یا دسی بل است و به صورت لگاریتم نسبت شدت صوت مورد نظر به شدت صوت مرجع تعریف می شود.
- تراز شدت صوت برحسب بل (B) به صورت زیر است:

$$\beta = log\frac{I}{I_o}$$

- تراز شدت صوت برحسب دسی بل (dB)، یک ضریب 10 می گیرد و به صورت زیر تعریف می شود.

$$\beta = 10\log\frac{I}{I_o}$$

شدت صوت یک هواپیما $۱۰^{-۱}$ وات بر متر مربع است. تراز شدت صوت آن چند دسی‌بل است؟ $(I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$ *(سراسری تجربی خارج ۸۴)*

۱) ۹۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۱۱۰ ۴) ۱۲۰

اگر تراز شدت صوتی ۷۶ دسی‌بل باشد، شدت آن چند وات بر متر مربع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۶}\ \mu W/m^۲)$ *(سراسری تجربی خارج ۹۱)*

۱) ۴×۱۰^{-۵} ۲) ۴×۱۰^{-۷} ۳) ۶×۱۰^{-۵} ۴) ۶×۱۰^{-۷}

اگر شدت صوتی $۲\times۱۰^{-۳}\ \mu W/m^۲$ باشد، تراز شدت صوت آن چند دسی‌بل است؟ (شدت صوت مبنا را $۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$ و لگاریتم ۲ را ۰/۳ فرض کنید.) *(سراسری تجربی قدیمی)*

۱) ۹ ۲) ۹/۳ ۳) ۳۳ ۴) ۹۳

شدت صوتی $۰/۴\ W/m^۲$ است. تراز شدت صوت چند دسی‌بل است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$ *(سراسری ریاضی ۸۷)*

۱) ۸۴ ۲) ۹۴ ۳) ۱۱۶ ۴) ۱۲۶

شدت صوتی $۳/۲\times ۱۰^{-۳}\ W/m^۲$ است. تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟ $(I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲ , \log ۲ = ۰/۳)$

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۸۵ ۴) ۹۵ *(سراسری ریاضی ۹۲)*

اگر صدای غرش یک هواپیما در یک نقطه، با تراز شدت ۱۱۰ دسی‌بل به گوش برسد، شدت صوت هواپیما در آن نقطه، چند وات بر متر مربع است؟ $(I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$ *(سراسری ریاضی ۸۲)*

۱) ۰/۰۱ ۲) ۰/۱۰ ۳) ۱۰ ۴) ۱۰۰

اگر تراز شدت صوتی ۱۲ دسی‌بل باشد، شدت آن چند وات بر متر مربع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$

۱) $۱/۶\times ۱۰^{-۱۱}$ ۲) $۳/۲\times ۱۰^{-۱۱}$ *(سراسری ریاضی خارج ۸۶)*

۳) ۴×۱۰^{-۱۲} ۴) ۸×۱۰^{-۱۲}

تراز شدت صوتی ۶۹ دسی‌بل است. شدت این صوت چند وات بر متر مربع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$ است.)

۱) ۸×۱۰^{-۶} ۲) ۸×۱۰^{-۱۰} *(سراسری تجربی خارج ۹۲، با تغییر)*

۳) ۱۲×۱۰^{-۶} ۴) ۱۲×۱۰^{-۱۰}

یک منبع صوت، در یک فضای باز امواجی را گسیل می‌کند و در فاصلهٔ ۵ متری آن تراز شدت صوت ۶۰ دسی‌بل است. توان منبع صوت چند میلی‌وات است؟ (از اتلاف انرژی صوتی در هوا صرف‌نظر شود و $I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$) *(سراسری تجربی خارج ۹۷)*

۱) $۰/۱\pi$ ۲) $۰/۲\pi$ ۳) $۰/۰۱\pi$ ۴) $۰/۰۲\pi$

یک چشمهٔ صوت، امواج صوتی را با توان ۱۲۰ وات در یک فضای باز، تولید و منتشر می‌کند. شنونده‌ای در فاصلهٔ چند متری از منبع قرار گیرد تا امواج صوتی را با بلندی ۹۰ دسی‌بل بشنود؟ (از جذب انرژی توسط محیط صرف‌نظر شود؛ $\pi = 3$ و $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$ است.)

۱) ۰/۱ ۲) ۱۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۱۰۰۰۰ *(سراسری تجربی ۸۹)*

توان یک چشمهٔ صوت ۵۰۰ میلی‌وات است. اگر در یک فضای باز، شنونده‌ای در فاصلهٔ ۲۰ متری از چشمه، صوت حاصل را با بلندی ۸۰ دسی‌بل احساس کند، در انتشار صوت در این فاصله چند درصد توان توسط محیط جذب شده است؟ $(\pi = 3, I_0 = 10^{-12}\ W/m^2)$ *(سراسری ریاضی خارج ۹۶)*

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۲۰ ۴) ۴۰

اختلاف تراز شدت دو صوت

- اگر شدت ترازصوت دو موج I_1 و I_2 و تراز شدت آنها β_1 و β_2 باشد، اختلاف تراز شدت دو صوت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Delta\beta = 10\log\frac{I_2}{I_1}$$

اگر شدت صوتی $\sqrt{10}$ برابر شود، تراز شدت آن چگونه تغییر می‌کند؟ *(سراسری تجربی ۸۴)*

۱) ۵ برابر می‌شود. ۲) ۱۰ برابر می‌شود. ۳) ۵ دسی‌بل افزایش می‌یابد. ۴) ۱۰ دسی‌بل افزایش می‌یابد.

وابستگی اختلاف تراز شدت دو صوت به فاصله از چشمه صوت

- اگر دو نقطه داشته باشیم که فاصله آنها از چشمه صوت به ترتیب r_1 و r_2 باشد، اختلاف تراز شدت صوت در این دو نقطه را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.
- می دانیم، شدت صوت در هر نقطه با مربع فاصله از چشمه صوت رابطه معکوس دارد:

$$I \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

- بنابراین برای اختلاف تراز شدت صوت می توان نوشت:

$$\Delta\beta = 10\log\frac{I_2}{I_1} = 10\log\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \Delta\beta = 20\log\frac{r_1}{r_2}$$

تراز شدت صوت در فاصله ۴۰ متری از یک منبع صوت 200 dB می باشد. در فاصله ۴۰۰ متری از این منبع صوت، تراز شدت صوت چند دسی بل است؟ (فرض کنید محیط انرژی صوت را جذب نمی کند.)

۱- 180 dB ۲- 220 dB ۳- 165 dB ۴- اطلاعات مسأله کافی نیست.

وابستگی تراز شدت صوت به مشخصات منبع صوت

- می دانیم، شدت صوت با مربع بسامد رابطه مستقیم، با مربع دامنه نوسان منبع صوت رابطه مستقیم و با مربع فاصله از منبع صوت رابطه عکس دارد.

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

- بنابراین دقت کنید، اگر بخواهید اختلاف تراز شدت صوت را به دست آورید، باید به وابستگی شدت صوت به عوامل فوق توجه کنید.

اگر دامنه نوسان منبع صوتی ۱۰ برابر و فاصله شنونده از منبع صوت دو برابر شده باشد، تراز شدت صوتی که شنونده دریافت می کند، چند دسی بل تغییر می کند. ($\log 5 = 0.7$)

۱- ۱۴۰ دسی بل افزایش می یابد. ۲- ۱۴ دسی بل کاهش می یابد.

۳- ۱۴ دسی بل افزایش می یابد. ۴- ۱۴۰ دسی بل کاهش می یابد.

شدت دو صوت ۱۰۰ و ۵۰۰ میکروواط بر سانتی‌متر مربع است. تراز شدت صدای بلندتر، چند دسی‌بل بیشتر از تراز شدت صوت دیگر است؟ ($\log ۲ = ۰/۳$)

(سراسری ریاضی خارج ۹۱)

۱) ۰/۳ ۲) ۰/۷ ۳) ۳ ۴) ۷

اگر شدت صوتی $۲\sqrt{۱۰}$ برابر شود، تراز شدت صوت چگونه تغییر می‌کند؟ ($\log ۲ = ۰/۳$)

(سراسری تجربی ۹۰)

۱) ۸ برابر می‌شود. ۲) ۴۰ برابر می‌شود. ۳) ۸ دسی‌بل افزایش می‌یابد. ۴) ۴۰ دسی‌بل افزایش می‌یابد.

برای آن‌که تراز شدت صوتی ۶ دسی‌بل افزایش یابد، شدت صوت باید چند برابر شود؟ $(\log ۲ = ۰/۳)$ (سراسری ریاضی ۸۱)

۱) ۴ ۲) ۹ ۳) ۶ ۴) ۲

اگر صدایی ۱۲ دسی‌بل بلندتر از صدای دیگر باشد، شدت صدای بلندتر چند برابر شدت صدای دیگر است؟ $(\log ۲ = ۰/۳)$

۱) ۱۶ ۲) ۳۲ ۳) $۱۰^{۲}$ ۴) $۱۰^{۱۲}$ (سراسری ریاضی ۹۷)

اگر شدت صوتی را ۱۶ برابر کنیم، تراز شدت آن ۵ برابر می‌شود. اگر $I_{۰} = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^{۲}$ باشد، شدت اولیهٔ صوت چند وات بر متر مربع است؟

۱) ۲×۱۰^{-۱۲} ۲) $۳/۲\times۱۰^{-۱۲}$ ۳) ۴×۱۰^{-۱۲} ۴) ۵×۱۰^{-۱۲} (سراسری تجربی ۹۱)

دامنهٔ ارتعاشات یک موج صوتی ۲۰ درصد کاهش داده می‌شود. در یک نقطهٔ معین، تراز شدت صوت، چند دسی‌بل کاهش می‌یابد؟ $(\log ۲ = ۰/۳)$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۱۴ ۴) ۲۰ (سراسری ریاضی ۹۶)

اگر دامنهٔ چشمهٔ صوتی را ۴ برابر کنیم، برای یک شنوندهٔ معین، تراز شدت صوت ۱/۳ برابر می‌شود. در این حالت، تراز شدت صوت برای آن شنونده به چند دسی‌بل می‌رسد؟ $(\log ۲ = ۰/۳)$ (سراسری ریاضی ۹۵)

۱) ۱۲ ۲) ۳۲ ۳) ۴۰ ۴) ۵۲

شنونده‌ای در یک فضای باز به صدای رادیو گوش می‌دهد. اگر فاصلهٔ او تا رادیو ۱۰ برابر شود، تراز شدت صوت چند دسی‌بل کاهش می‌یابد؟

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۳۰ ۴) ۱۰۰ (سراسری ریاضی ۸۳)

در فاصلهٔ ۲۰ متری از یک منبع صوت، تراز شدت صوت ۸۰ دسی‌بل است. در چند سانتی‌متری منبع تراز شدت صوت ۱۲۰ دسی‌بل است؟ (از جذب انرژی صوتی توسط محیط صرف‌نظر کنید.) (سراسری تجربی ۹۷)

۱) ۲۰ ۲) ۴۰ ۳) ۸۰ ۴) ۲۰۰

در یک فضای باز، وقتی شنونده‌ای فاصلهٔ خود را تا منبع صوت از r_1 به r_2 می‌رساند، تراز شدت صوت از ۵۴ دسی‌بل به ۴۰ دسی‌بل کاهش می‌یابد. اگر $r_2 - r_1 = 36\ m$ باشد، r_1 چند متر است؟ $(\log 2 = 0/3)$ *(سراسری ریاضی خارج ۹۷)*

۱) ۳ ۲) ۶ ۳) ۹ ۴) ۱۲

ادراک شنوایی

- زمانی که یک دیاپازون را با ضربه ای به ارتعاش وا می داریم، دیاپازون نوسان هایی انجام می دهد که میرایی آنها کم است در نتیجه این نوسانات به حرکت هماهنگ ساده نزدیک است.
- به صوت حاصل از چشمه های صوتی که حرکت هماهنگ ساده انجام می دهند، تن موسیقی یا به اختصار تن گفته می شود.
- با شنیدن هر تن موسیقی، دو تا ویژگی را می توان از هم متمایز ساخت:
  - ارتفاع صوت
  - بلندی صوت
- هم ارتفاع صوت و هم بلندی صوت هر دو به ادراک شنوایی ما مربوط می شوند.

ارتفاع صوت

- منظور از ارتفاع صوت، دریافت گوش ما از بسامد است.
- به عبارتی ارتفاع صوت، همان بسامدی است که گوش انسان از یک صوت درک می کند.
- برای مثال اگر چند دیاپازون با بسامدهای مختلف به طور یکسان نواخته شوند، ادراک شنوایی انسان می تواند بسامد آنها را از کمترین تا بیشتری مقدار تشخیص دهد. به این خاصیت، ارتفاع صوت گفته می شود.
- برای مثال اختلاف صدای نازک و کلفت، یا اختلاف صدای زن و مرد ناشی از همین اختلاف در ارتفاع صوت است.
- هرچه بسامد یک صوت بیشتر باشد، آن صدا دارای ارتفاع بیشتری است و زیرتر (نازک تر یا جیغ تر) است.
- و هرچه بسامد یک صوت کمتر باشد، آن صدا دارای ارتفاع کمتری بوده و بم تر (کلفت تر) می باشد.

بلندی صوت

- به شدتی از یک صوت که گوش انسان آن را درک می کند، بلندی صوت گفته می شود.
- برای مثال اگر یک دیاپازون را با بسامد مشخص و ثابت اما با شدت های مختلف به ارتعاش وادارایم، با آنکه بسامد صوت تغییری نمی کند اما گوش ما می تواند صداهایی با بلندی مختلف را از هم متمایز کند.

تفاوت بلندی و ارتفاع با شدت و بسامد

- دقت کنید بلندی یک صوت با شدت صوت متفاوت است.
- بلندی یک صوت، انرژی یا چیزی است که گوش انسان از یک صوت درک می کند.
- شدت یک صوت، چیزی است که توسط آشکارساز قابل اندازه گیری است.
- بسامد و شدت یک صوت ویژگی های فیزیکی قابل اندازه گیری توسط آشکارساز یا دستگاه هستند و بستگی به شنونده ندارند.
- در حالی که ارتفاع و بلندی یک صوت ناشی از برداشت ذهنی و روانی شنونده است.
- برای مثال، ممکن است شخصی با گوش های حساس یک صدا را بلند بشنود در حالی که شخص دیگری در همان فاصله، آن صدا را آهسته بشنود.

گستره شنوایی انسان

- دستگاه شنوایی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت های متفاوتی نشان می دهد.
- گوش انسان می تواند تن های صدای 20 تا 20000 هرتز را بشنود.
- بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گستره 2000 تا 5000 هرتز می باشد.
- نکته مهم
  - اگر بسامد صوت A برای مثال 3000 هرتز و بسامد صوت B معادل 200 هرتز باشد. و شدت هر دو صوت یکسان باشد، انسان تن A را بلندتر احساس می کند. زیرا حساسیت گوش انسان به 3000 هرتز بیشتر است.

فراصوت و فروصوت

- به تن هایی با بسامد کوچکتر از 20 هرتز، فروصوت گفته می شود.
- به تن هایی با بسامد بزرگتر از 20 کیلوهرتز، فراصوت گفته می شود.
- انسان قادر به شنیدن ناحیه فروصوت و فراصوت نیست.

به وسیلهٔ بلندگو، کدام‌یک از عوامل فیزیکی صوت تقویت می‌شود؟ *(سراسری تجربی ۶۳)*

۱) دامنه ۲) سرعت ۳) طول موج ۴) بسامد

طول موج امواج صوتی‌ای که برای انسان قابل شنیدن هستند، در هوا، در کدام محدوده است؟ (تندی انتشار صوت در هوا $320\ m/s$ در نظر گرفته شود.)

۱) $16\ mm$ تا $16\ m$
۲) $16\ m$ تا $16\ km$
۳) $6/4\ m$ تا $6/4\ km$
۴) $6/4\ km$ تا $6/4\ mm$

دو صوت A و B به ترتیب با بسامدهای ۵۰۰ Hz و ۲۰۰۰ Hz، اما هر دو با یک شدت، به گوش شنونده‌ای می‌رسد و شخص آن‌ها را می‌شنود. در این صورت، ..... *(آزمایشی آموزش و پرورش شهر تهران ۸۶)*

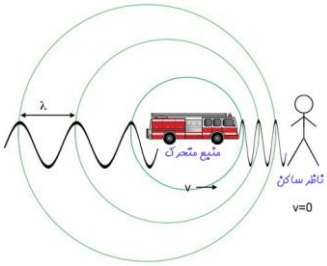
۱) هر دو با یک تراز شنیده می‌شوند.
۲) صوت A بلندتر شنیده می‌شود.
۳) صوت B بلندتر شنیده می‌شود.
۴) داده‌ها کافی نیست.

اثر دوپلر برای امواج صوتی

- مطابق اثر دوپلر اگر چشمه یک موج به سمت شما حرکت کند، شما بسامدی بیشتر از بسامد واقعی آن از آن چشمه درک می کند.

- و یا برعکس، اگر چشمه یک موج از شما دور شود، شما بسامدی کمتر از بسامد واقعی آن از آن موج درک خواهید کرد.
- و اگر چشمه موج و شما هر دو ساکن باشید، شما دقیقا همان بسامد اصلی را درک می کنید.

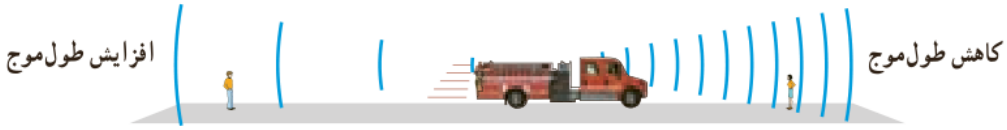
- نتیجه کلی اینکه:
- اگر برای مثال یک ماشین آتش نشانی در حال نزدیک شدن به شما باشد، شما بسامدی بیشتر یا طول موجی کمتر از صدای واقعی آن ماشین را درک خواهید کرد.
- در حقیقت زمانی که ماشین آتش نشانی (چشمه موج) به سمت شما حرکت می کند:
  - تعداد موج هایی که در هر ثانیه از آن موج به شما می رسد بیشتر از حالتی است که ماشین و شما هر دو ساکن هستید.
  - یعنی در سمتی که چشمه موج درحال نزدیک شدن به شما می باشد، خطوط موج متراکم تر خواهد بود.



تجمع جبهه موج در اثر دوپلر

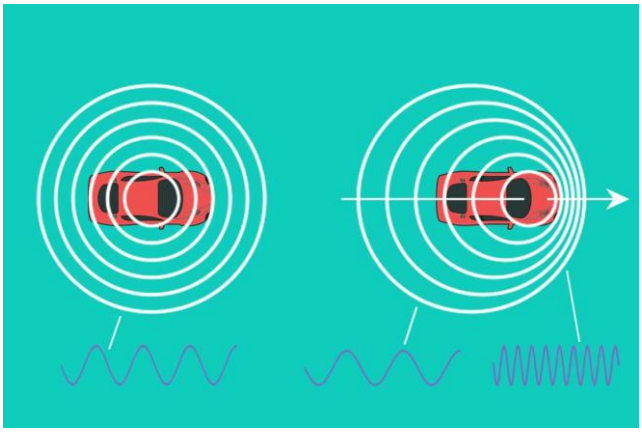
- به شکل زیر توجه کنید، زمانی که چشمه موج ساکن است، تجمع جبهه موج در عقب و جلوی چشمه موج یکسان است.
- به عبارتی، طول موج یا بسامدی که شنونده در عقب یا جلوی چشمه موج درک می کند، دقیقا همان طول موج یا بسامدی است که چشمه موج دارد.

- اما زمانی که چشمه موج برای مثال به سمت راست حرکت می کند، تراکم یا تجمع جبهه موج در سمت جلو بیشتر از عقب خواهد شد، بنابراین شنونده در جلوی چشمه، طول موج کمتر یا بسامد بیشتر را درک می کند.



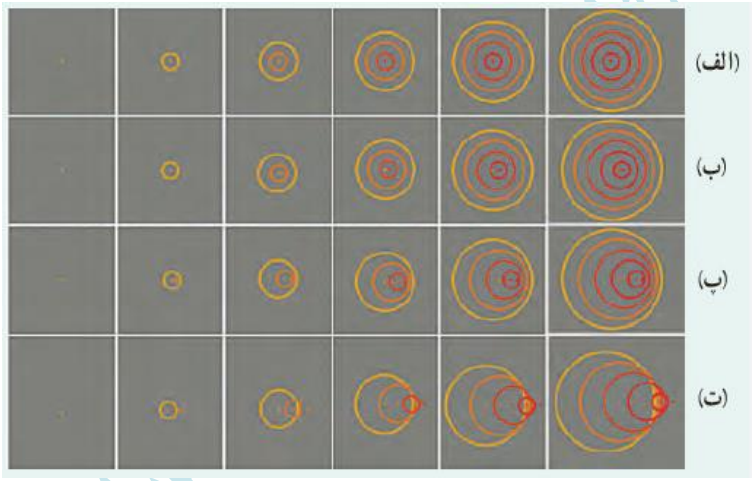
تعریف اثر دوپلر

- به تغییر بسامد صوت شنیداری که در اثر حرکت نسبی فرستنده و گیرنده امواج صوتی حاصل می شود، «اثر دوپلر» گفته می شود.
- همچنین به تغییرات بسامد و طول موج دریافتی از چشمه، «جابه جایی دوپلر» گفته می شود.



وابستگی اثر دوپلر به سرعت

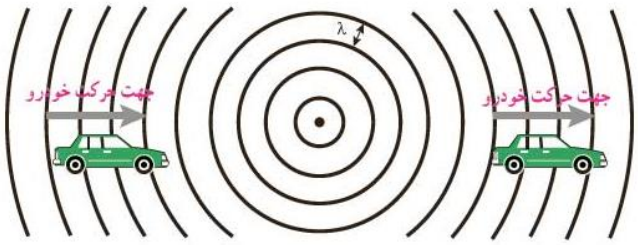
- هرچه سرعت حرکت چشمه موج بیشتر باشد، فاصله بین جبهه های موج در جلوی چشمه کمتر می شود.
- در نتیجه شخصی که جلوی چشمه موج قرار دارد، در هر ثانیه، تعداد جبهه های موج بیشتری دریافت می کند.
- یعنی بسامد صوتی که شنونده جلوی چشمه صوت دریافت می کند، بیشتر می شود.



- با توجه به شکل فوق، مشخص است که از بالا به پایین سرعت چشمه صوتی افزایش می یابد.
- در مورد شکل «الف» تراکم جبهه های موج در سمت راست و چپ تغییری نکرده است، بنابراین در این شکل، چشمه موج ساکن است.
- از بالا به پایین از «ب» تا «ت» به ترتیب فشردگی چشمه موج در سمت راست بیشتر شده است، پس چشمه موج در حال حرکت به سمت راست است.
- در مورد شکل «ت»، چشمه موج از امواج صوتی سریعتر حرکت کرده است، یعنی سرعت چشمه موج از سرعت صوت بالاتر رفته است.
- در مورد شکل های «ب» و «پ» سرعت چشمه صوت کمتر از سرعت خود صوت است.

چشمه موج ثابت، ناظر یا شنونده متحرک

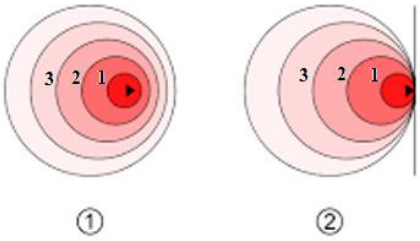
- اگر چشمه موج (مانند یک آمبولانس که در حال آژیر کشیدن است)، ساکن باشد و شنونده نسبت به آن حرکت کند، باز هم اثر دوپلر مطابق توضیحات داده شده مشاهده می شود.
- در اثر دوپلر، حرکت نسبی چشمه صوت و شنونده مهم است.
- در حالتی که چشمه موج ساکن است، مطابق شکل زیر، تراکم امواج در دو طرف چشمه موج یکسان است.



- اگر ناظر به سمت چشمه موج ساکن حرکت کند، در هر ثانیه، با تعداد بیشتری جبهه موج روبرو می شود در نتیجه بسامد بیشتری یا طول کمتری را درک می کند.
- و اگر ناظر در حال دور شدن از چشمه موج ساکن باشد، در هر ثانیه، با تعداد کمتری جبهه موج روبرو می شود در نتیجه بسامد کمتری یا طول بیشتری را درک می کند.

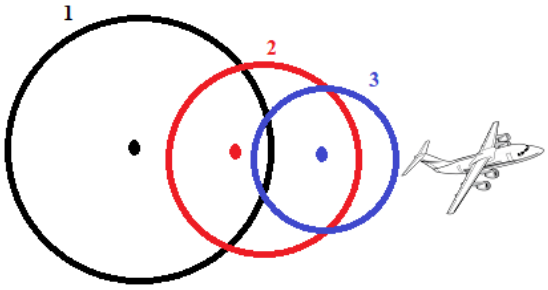
حرکت چشمه با تندی صوت

- اگر یک چشمه صوت با تندی کمتر از تندی صوت حرکت کند، درجلوی این چشمه صوت، امواج فشرده تر شده و طول موج کمتر از طول موج واقعی صوت می شود.
- اگر چشمه صوت با تندی صوت در فضا حرکت کند، چشمه صوت، موج صوتی شماره ۱ را تولید می کند، و با همان تندی حرکت کرده و بعد از T ثانیه، موج ۲ و T ثانیه بعد از آن، موج ۳ را تولید می کند، همه این امواج در جلوی چشمه صوت یعنی در مکان چشمه صوت، روی هم انباشته می شوند.
- به عبارتی طول موج در جلوی منبع صوت، صفر می شود.



حرکت چشمه با تندی مافوق صوت

- اگر تندی چشمه صوت از تندی صوت بیشتر شود، در این صورت، چشمه صوت از جبهه های موجی که خودش تولید کرده است جلو می افتد و سبقت می گیرد.
- در این حالت شکلی مشابه زیر به دست می آید. و پدیده بسیار جالبی به نام «وارونگی صدا» اتفاق می افتد.



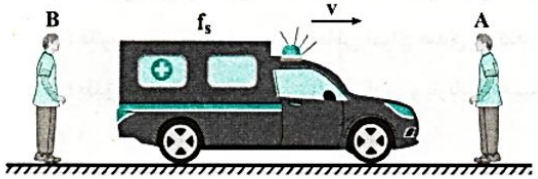
- پدیده وارونگی صدا، شبیه به حالتی است که صدای ضبط شده روی یک نوار به طور وارونه پخش شود.
- برای مثال اگر شخصی با سرعت مافوق صوت به شما نزدیک شود و شما را با نام «امین» صدا بزند، شما صدا را به صورت «نیما» دریافت می کنید.
- دلیل آن این است که حرف آخر یعنی «ن» در فاصله نزدیک تری از بقیه حروف تولید شده و به گوش شما می رسد.

• و اگر یک چشمه صوت با سرعت مافوق صوت از شما دور شود، صدا به گوش شما نمی رسد، چون امواج تولید شده از شما دور می شوند.

یک چشمهٔ صوتی ساکن امواجی با طول موج λ را تابش می‌کند. این چشمه روی خط راستی شروع به حرکت می‌کند. اگر در این حالت، طول موج صوت حاصل از چشمه را در جلو و عقب آن به ترتیب با λ_1 و λ_2 نشان دهیم، کدام رابطه برقرار است؟

۱) $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$ ۲) $\lambda_1 > \lambda > \lambda_2$ ۳) $\lambda_2 > \lambda > \lambda_1$ ۴) $(\lambda_2 = \lambda_1) > \lambda$

مطابق شکل، یک خودرو آمبولانس با تندی ثابت به‌سمت شنوندهٔ A حرکت می‌کند. اگر این خودرو آژیری با بسامد f_s تولید کند و بسامدهای دریافتی توسط دو شنوندهٔ ساکن A و B را به‌ترتیب با f_A و f_B نشان دهیم، کدام رابطه درست است؟



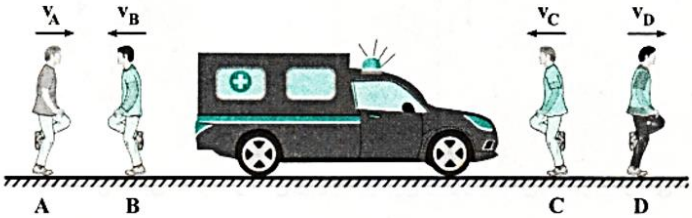
۱) $f_A < f_s < f_B$

۲) $f_B < f_s < f_A$

۳) $f_A = f_s = f_B$

۴) $f_s < f_B < f_A$

در شکل زیر، یک آمبولانس ساکن، صدایی با طول موج λ_s و بسامد f_s تولید می‌کند و چهار شنوندهٔ متحرک A، B، C و D صداهایی را دریافت می‌کنند. چند مورد از مقایسه‌های زیر در مورد بسامد و طول موج شنیده‌شده توسط این چهار شنونده درست است؟



الف) $f_A < f_s \, , \lambda_A > \lambda_s$

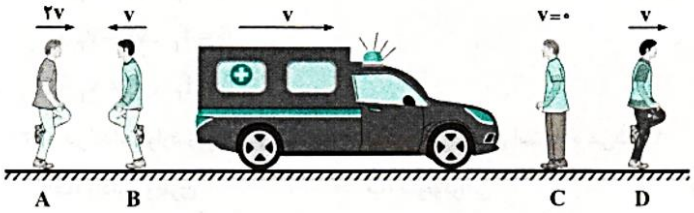
ب) $f_B > f_s \, , \lambda_B = \lambda_s$

پ) $f_C = f_s \, , \lambda_C < \lambda_s$

ت) $f_D < f_s \, , \lambda_D = \lambda_s$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

در شکل زیر، یک آمبولانس با تندی ثابت v به‌سمت راست در حال حرکت است و آژیری با بسامد f_s و طول موج λ_s تولید می‌کند و تندی و جهت حرکت چهار شنوندهٔ A، B، C و D مشخص شده است. چند مورد از مقایسه‌های زیر در مورد بسامد و طول موج دریافتی توسط این چهار شنونده درست است؟



الف) $f_A > f_s \, , \lambda_A > \lambda_s$

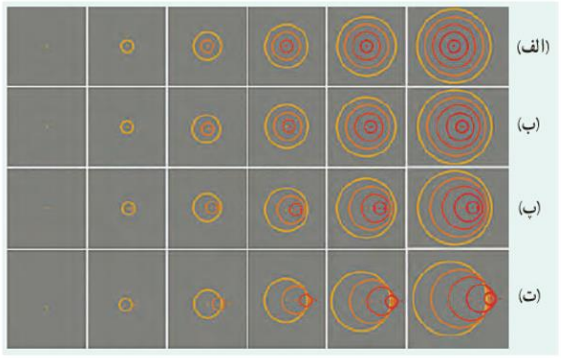
ب) $f_B > f_s \, , \lambda_B < \lambda_s$

پ) $f_C > f_s \, , \lambda_C = \lambda_s$

ت) $f_D > f_s \, , \lambda_D < \lambda_s$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

در هر ردیف افقی در شکل مقابل، جبهه‌های متوالی موج حاصل از یک چشمه در چند آزمایش متفاوت مشخص شده است. کدام‌یک از عبارت‌های زیر در مورد این چهار آزمایش نادرست است؟



الف) چشمهٔ موج فقط در آزمایش (الف) ساکن است.

ب) در آزمایش (ب)، چشمهٔ موج با تندی کمتر از تندی انتشار موج در حال حرکت است.

پ) در آزمایش (پ)، تندی انتشار موج بیشتر از تندی حرکت چشمهٔ موج است.

ت) فقط در آزمایش (ت)، چشمهٔ موج با تندی بیشتر از تندی انتشار موج در حال حرکت است

۱) (الف) و (پ) ۲) (ب) و (ت) ۳) فقط (پ) ۴) فقط (ت)

بازتاب امواج مکانیکی در یک بعد

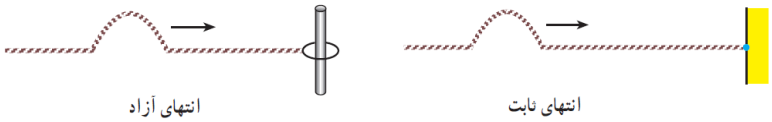
- زمانی که یک سر طناب یا فنر را به یک مانع مانند دیوار متصل کرده باشید، اگر موجی در این طناب یا فنر ایجاد شود، زمانی که به انتهای متصل به دیوار می رسد، در جهت برعکس در طناب یا فنر بازتاب (بازگشت) انجام می دهد.
- به بازتاب موجی که در طناب و یا فنر، ایجاد شده است، بازتاب یک بعدی گفته می شود.
- بازتاب یک بعدی، بازتاب موج در یک راستا (برای مثال در راستای طول) می باشد.
- نوع بازتابش تپ یا موج از انتهای طناب به نحوه اتصال انتهای طناب بستگی دارد.

نحوه بازتاب موج یک بعدی

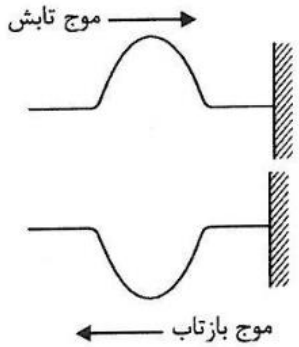
- فرض کنید طنابی دارید که یک سر آن به دیواری محکم شده است.
- زمانی که مانند شکل زیر، یک تپ یا موج در طناب ایجاد شده و به سر متصل به دیوار می رسد، به نقطه متصل به دیوار نیرویی وارد می کند.
- طبق قانون سوم نیوتن، تکیه گاه نیز نیرویی با اندازه برابر ولی در جهت مخالف بر طناب وارد می کند.
- این نیرو در محل تکیه گاه، تپی در طناب ایجاد می کند، در نتیجه موجی به صورت وارونه در طناب ایجاد شده و بازتاب می کند.

بازتاب در طناب با انتهای بسته یا ثابت

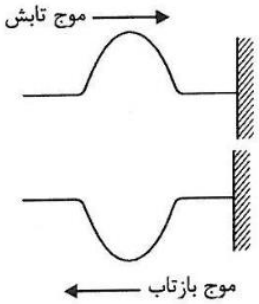
- طناب ممکن است به یک دیواره سخت، محکم شده باشد. در این حالت گفته می شود که انتهای طناب، انتهای ثابت یا بسته می باشد. مانند شکل زیر:



- هنگامی که انتهای طناب ثابت است، وقتی که تپ یا موج به انتهای طناب می رسد، مانند شکل زیر، جزئی از طناب که در مجاورت نقطه P قرار داد، به آن نیرویی رو به بالا وارد می کند تا نقطه P را به نوسان وا دارد، اما نقطه P ثابت بوده و نمی تواند نوسان کند.



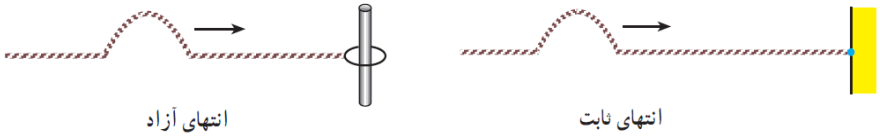
- مطابق قانون عمل و عکس العمل یا قانون سوم نیوتون، در این لحظه نقطه P به طناب نیرویی مخالف نیروی وارد شده یعنی رو به پایین وارد می کند در این حالت انگار شخصی انتهای طناب را گرفته و آن را به سمت پایین به نوسان وا می دارد.



- در نتیجه انتهای ثابت، در بازتاب تپ، مانند یک چشمه موج عمل می کند و یک تپ برخلاف جهت تپ تابشی (یا فرودی) در طناب ایجاد می کند، این تپ برجستگی ها را به فرورفتگی و فرورفتگی را به برجستگی تبدیل می کند.
- به عبارتی امواج به طرف مانع سخت رفته و در برگشت از آن مانع، اختلاف فازی به اندازه π نشان می دهند.
- در نتیجه موج برگشتی، قرینه (وارون) موج رفت می باشد.

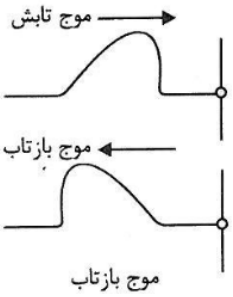
بازتاب در طناب با انتهای باز

• ممکن است انتهای طناب به حلقه بسیار سبکی وصل باشد که روی میله قائمی بدون اصطکاک بالا و پایین می رود. در این حالت گفته می شود که طناب دارای انتهای آزاد است.



• انتهای ثابت نمی تواند نوسان کند در حالی که انتهای آزاد به راحتی نوسان آزاد انجام می شود.

• هنگامی که انتهای طناب باز است، مانند شکل زیر وقتی که تپ به انتهای طناب می رسد، انتهای آزاد طناب را در جهت خود به حرکت در می آورد.

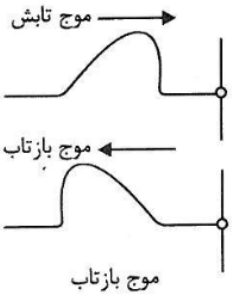


• در این حالت انتهای آزاد طناب به قله ای می رسد که جابجایی آن از وضع تعادل، دو برابر جابجایی سایر نقطه های طناب می باشد.

• در این حالت، انتهای طناب مانند یک چشمه موج عمل می کندکه در طناب، تپی در جهت تپ تابشی ایجاد می کند که در خلاف جهت آن در طناب منتشر می شود.

• در این حالت نیز مانند زمانی که انتهای طناب را با دست گرفته ایم و بالا و پایین می کنیم، برجستگی به صورت برجستگی و فرورفتگی به صورت فرورفتگی (برعکس حالت انتها ثابت) بازتاب می شود.

• در حالتی که مانع نرم در انتهای طناب وجود دارد، یعنی حالتی که انتهای طناب باز است، موج برگشتی دقیقاً روی همان موج رفت برمی گردد و وارون نمی شود.



نتیجه کلی:

• اگر انتهای طناب بسته باشد، موج بازتابیده وارون می شود، و اگر انتهای طناب باز باشد (یعنی با مانعی نرم تماس داشته باشد)، موج بازتابیده وارون نمی شود و روی همان موج اصلی قرار می گیرد.

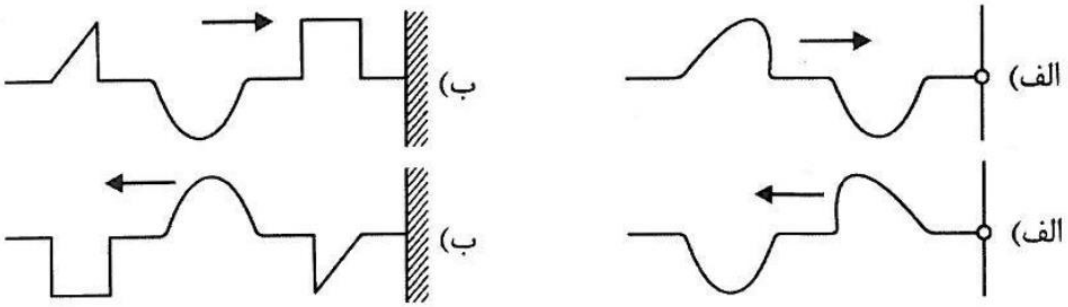
• در هر دو حالت، موج وارون جانبی می شود، یعنی تپی که زودتر به مانع می رسد، زودتر هم برمی گردد.

دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷

مثال: نقش موج برگشت از روی دو مانع در شکل های زیر را رسم کنید. (مشابه ریاضی ۸۲)

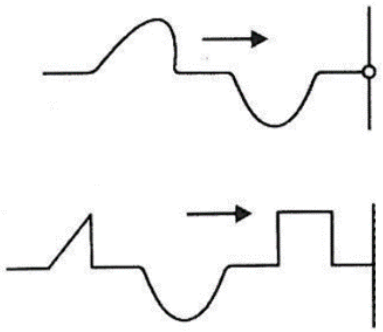
پاسخ: در شکل الف، انتها باز می باشد در حالی که در شکل ب انتها بسته است. بنابراین در الف، نمودار وارون نمی شود در حالی که در ب، نمودار وارون می شود.

دقت کنید در هر دو حالت، موجی که زودتر به دیواره رسیده است، زودتر هم برمی گردد.

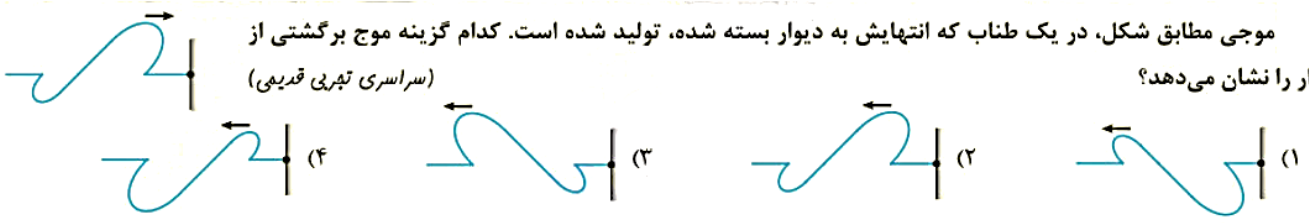


روش استفاده از آینه برای بازتاب یک بعدی

- برای راحتی کار، زمانی که می خواهید موج را در یک طناب بازتاب کنید، چه در حالت انتها بسته و چه در حالت انتها باز، فرض کنید که دیوار یک آینه تخت است، تصویر موج را داخل آینده ترسیم کنید.
- تصویر موج در آینه تخت، همان موج بازتابیده شده از انتهای باز است.
- اما اگر این تصویر را وارونه کنید (یعنی نسبت به خط افقی وسط موج، برعکس کنید و یا بالا و پایین کنید)، موج بازتابیده در طناب با انتهای بسته به دست می آید.
- این روش را با دو موج زیر بررسی کنید:

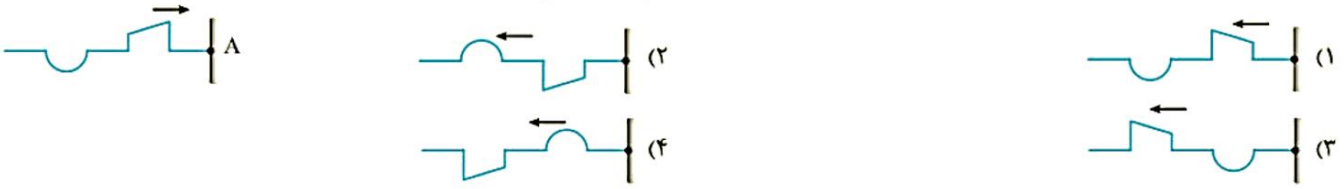


موجی مطابق شکل، در یک طناب که انتهایش به دیوار بسته شده، تولید شده است. کدام گزینه موج برگشتی از دیوار را نشان می‌دهد؟ *(سراسری تجربی قدیمی)*

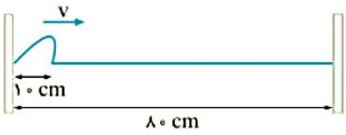


طنابی در نقطهٔ A، به دیوار محکم بسته شده است. تپی مطابق شکل، در طناب ایجاد شده است؛ تپ بازتابش کدام است؟

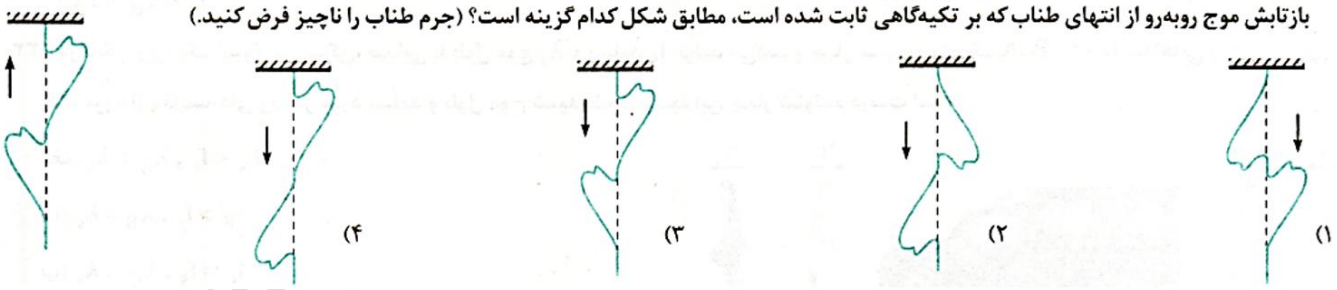
(آزمایشی آموزش و پرورش شهر تهران ۸۷، با ویرایش گزینه‌ها!)



تپی به شکل مقابل در طنابی که دو انتهای آن ثابت شده است، ایجاد شده و با تندی ۲ m / s در طول طناب پیش می‌رود. طناب ۱s پس از لحظهٔ نشان داده شده در شکل روبه‌رو در کدام وضعیت زیر مشاهده می‌شود؟

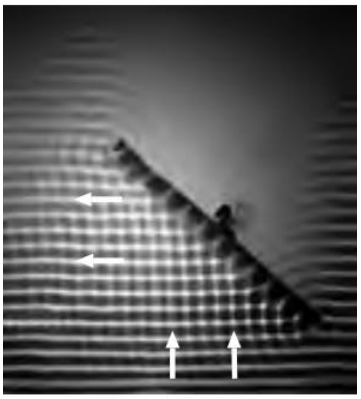


بازتابش موج روبه‌رو از انتهای طناب که بر تکیه‌گاهی ثابت شده است، مطابق شکل کدام گزینه است؟ (جرم طناب را ناچیز فرض کنید.)



بازتاب امواج مکانیکی در دو بعد

- زمانی که یک تیغه تختی روی سطح آب به نوسان در می آوریم، امواج تختی بر سطح آب تشکیل می شود.
- حال اگر بر سر راه این امواج مانع هایی قرار دهیم، این امواج پس از برخورد با این موانع بازتابیده می شوند.
- به چنین بازتابی، بازتاب در دو بعد گفته می شود.
- همچنین این امواج سطحی، «امواج دو بعدی» نامیده می شوند.



راه های نمایش بازتاب موج از مانع

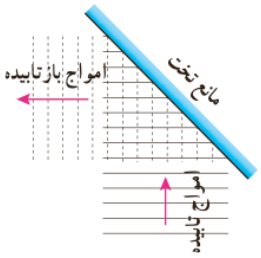
- برای نمایش بازتاب موج ها از مانع، دو روش وجود دارد:

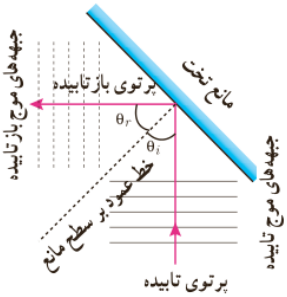
نمودار موجی:

- در این روش، جبهه های موج را به طور کامل ترسیم می کنیم.
- فاصله بین جبهه های موج متوالی (یعنی طول موج) پس از بازتاب با قبل از بازتاب یکسان است و تغییری نمی کند.

نمودار پرتویی:

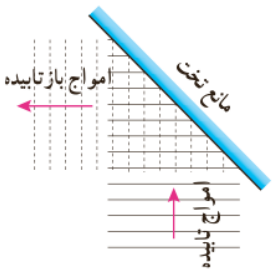
- در این روش، به جای ترسیم جبهه های موج، از خطوط فرضی استفاده می کنیم که عمود بر جبهه های موج هستند و جهت انتشار موج را نشان می دهند.

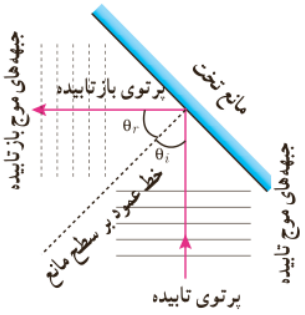




پرتو تابش و بازتابش

- به پرتویی که عمود بر جبهه های موج تابیده شده است، «پرتوی تابش» یا «پرتوی فرودی» گفته می شود.
- پرتوی تابش با نماد I نشان داده می شود.
- به پرتویی که عمود بر جبهه های موج بازتابیده شده است، «پرتوی بازتابیده» گفته می شود.
- پرتوی بازتابیده با نماد R نشان داده می شود.

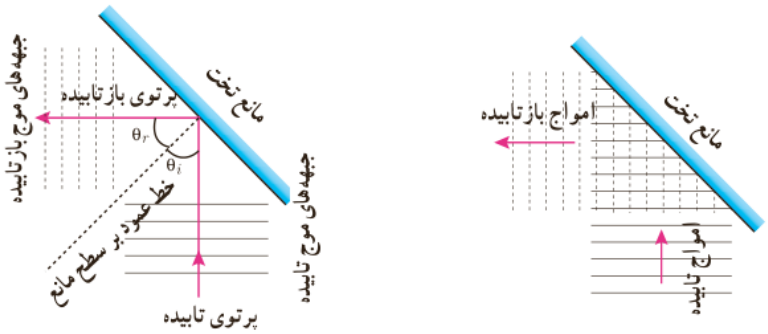




زاویه تابش و بازتابش

- به زاویه پرتوی تابیده با خط عمود بر سطح، «زاویه تابش» گفته می شود.

- به زاویه پرتوی بازتابیده با خط عمود بر سطح، «زاویه بازتابش» می گوییم.
- زاویه تابش را با نماد θi و زاویه بازتابش را با نماد θr نشان می دهیم.



قانون بازتاب عمومی

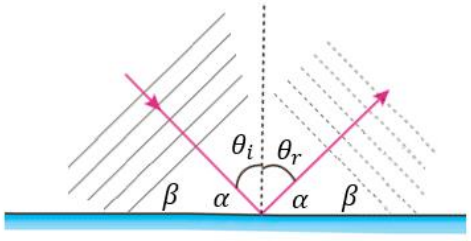
- مطابق قانون بازتاب عمومی: زاویه تابش و زاویه بازتابش با هم برابر هستند.

$$\theta_i = \theta_r$$

- دقت کنید، قانون بازتاب عمومی در همه شرایط برقرار است.
- به عبارتی در امواج تخت و غیر تخت، و یا در موانع تخت و غیر تخت، در همگی، قانون بازتاب عمومی برقرار است.

زاویه جبهه های موج با سطح مانع

- زاویه ای که جبهه های موج تابیده و یا بازتابیده با سطح مانع می سازند، برابر با زاویه تابش یا بازتابش است. این زاویه را با نماد β نشان می دهیم.

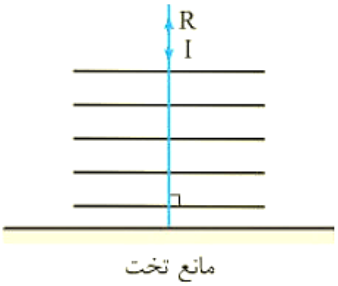


$$\beta + \alpha = 90, \quad \theta_i + \alpha = 90 \Rightarrow \beta = \theta_i = \theta_r$$

جبهه های موج موازی با سطح مانع

- اگر جبهه های موج به موازات مانع باشند، یعنی پرتوی تابش عمود بر سطح مانع باشد، زاویه تابش و بازتابش هر دو صفر می شوند.
- در این حالت پرتوی تابیده و بازتابیده روی هم قرار می گیرند.

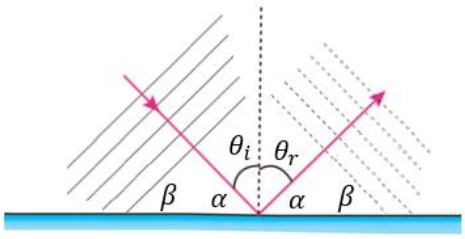
- به عبارتی پرتوی بازتابیده شده دقیقا روی پرتوی تابیده شده برمی گردد.



$$\boldsymbol{\theta_i = \theta_r = 0}$$

زاویه بین پرتوی تابش و بازتابش

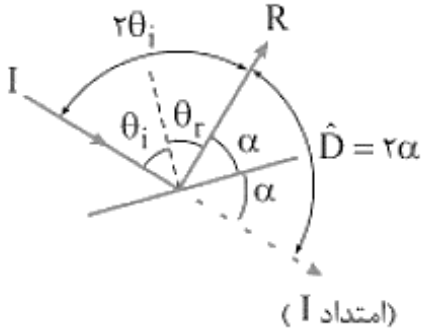
- زاویه بین پرتوی تابش و بازتابش، دو برابر زاویه تابش یا دو برابر زاویه بازتابش است.



$$\boldsymbol{\theta_i + \theta_r = 2\theta_i = 2\theta_i}$$

زاویه انحراف پرتوی پس از بازتابش

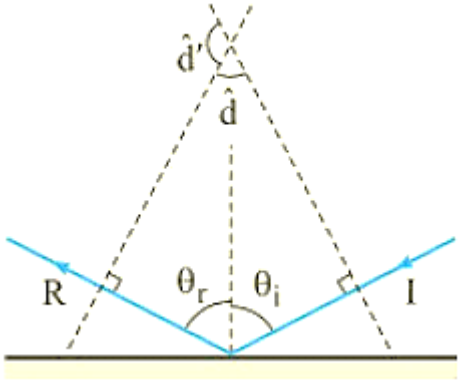
- در این حالت، میزان انحراف پرتو پس از بازتابش از سطح مانع از شما خواسته می شود.
- این زاویه را با نماد D نشان می دهیم و به صورت زیر محاسبه می کنیم.



$$D = 2\alpha \Rightarrow D = 2(90 - \theta_i) \Rightarrow \boldsymbol{D = 180 - 2\theta_i}$$

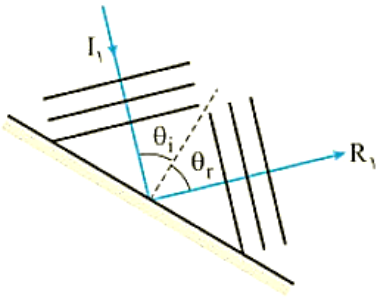
- این زاویه در حقیقت مکمل دو برابر زاویه تابش است.
- برای مثال اگر زاویه تابش برابر با ۳۰ درجه باشد، زاویه انحراف معادل ۱۲۰ درجه خواهد بود.

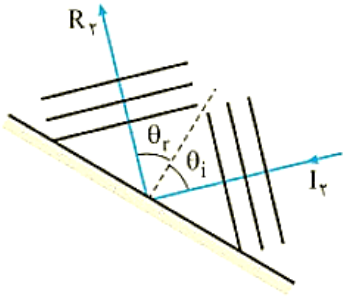
- دقت کنید، می توان نشان داد، زاویه بین خطوط عمود بر پرتو تابش و بازتابش، هم از رابطه فوق یعنی $180 - 2\theta_i$ به دست می آید.



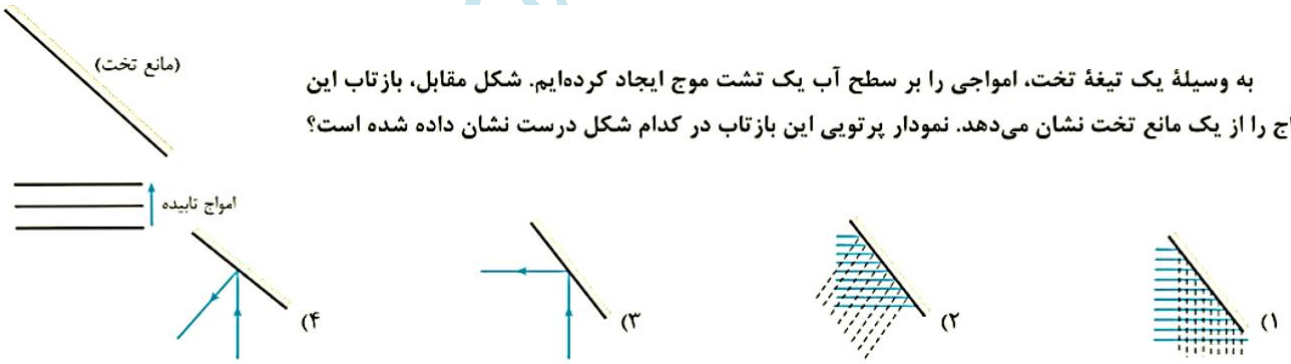
اصل بازگشت پذیری موج

- مطابق اصل بازگشت پذیری موج، جبهه های موج مسیر آمده را می توانند در جهت عکس برگردند.



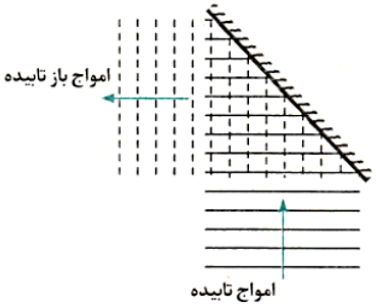


به وسیلهٔ یک تیغهٔ تخت، امواجی را بر سطح آب یک تشت موج ایجاد کرده‌ایم. شکل مقابل، بازتاب این امواج را از یک مانع تخت نشان می‌دهد. نمودار پرتویی این بازتاب در کدام شکل درست نشان داده شده است؟



یک موج دوبعدی با زاویهٔ تابش بزرگ‌تر از 45° به مانع تختی تابیده و از سطح آن بازمی‌تابد. اگر زاویهٔ بین جبههٔ تابش با پرتوی بازتابش $\frac{1}{2}$ برابر زاویهٔ بین جبههٔ تابش و مانع باشد، زاویهٔ تابش چند درجه است؟

۱) ۵۰ ۲) ۵۵ ۳) ۶۰ ۴) ۹۰



شکل مقابل، نحوهٔ بازتابش جبهه‌های موج را از یک مانع تخت نشان می‌دهد. اگر تندی انتشار و بسامد موج تابشی به‌ترتیب v_i و f_i باشد و تندی انتشار و بسامد موج بازتابیده به‌ترتیب v_r و f_r باشد، کدام مقایسه صحیح است؟

۱) $f_i = f_r \ ، \ v_i = v_r$

۲) $f_i \neq f_r \ ، \ v_i = v_r$

۳) $f_i = f_r \ ، \ v_i \neq v_r$

۴) $f_i \neq f_r \ ، \ v_i \neq v_r$

بازتاب امواج مکانیکی در سه بعد

- امواج صوتی در همه فضا پخش می شوند و پس از بازتاب از سطح یک مانع در تمام جهات متنشر می شوند.
- بازتاب صوت د رفضا هم از قانون بازتاب عمومی پیروی می کند.

دستگاه بررسی قانون بازتاب عمومی در امواج صوتی

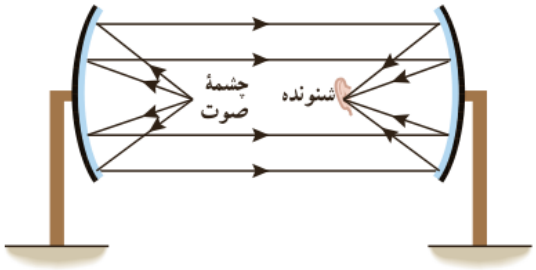
- شکل زیر، اسبابی را نشان می دهد که توسط آن می توان قانون بازتاب عمومی در امواج صوتی را بررسی کرد.

نمایشی از اسباب آزمایش بازتاب صوت

- این وسیله شامل دو لوله است که در یک صفحه قرار دارد و یک انتهای آن ها به فاصله کمی از یک تخته چند لایه قرار دارند.
- یک ساعت عقربه ای در ورودی یکی از لوله های قرار داده می شود تا صدای تیک تاک آن وارد لوله شود.
- امواج صوتی ساعت وارد لوله اول می شود و به طرف تخته هدایت می شود و توسط تخته بازتابیده می شود.
- بلندی صوتی که از لوله دوم شنیده می شود، زمانی بیشینه می شود که لوله ها با خط عمود بر سطح تخته زاویه های برابر بسازند.
- یعنی زمانی صدای بازتابیده شده بیشینه است که زاویه تابش و بازتابش با هم برابر باشند.

بازتابش امواج صوتی از سطوح کاو

- می دانیم برای سطوح کاو (مقعر)، اگر چشمه موج روی کانون قرار بگیرد، امواج پس از برخورد با سطوح کاو به صورت موازی برمی گردند.
- و به طور برعکس، اگر چشمه موج در فاصله دور نسبت به سطح مقعر قرار داده شود، امواج به صورت موازی به سطح برخورد کرده و پس از انعکاس، روی کانون متمرکز می شوند.

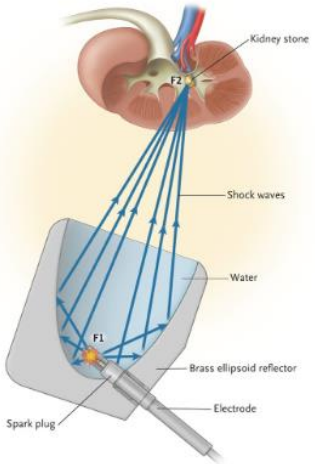


میکروفون سهمومی

- میکروفون سهمومی وسیله ای است که از آن برای ثبت صداهای ضعیف می توان استفاده کرد.
- این وسیله دارای یک سطح کاو است که امواج صوتی را روی کانون خود متمرکز می کند.
- میکروفونی روی کانون قرار می گیرد و شنونده، صوت تقویت شده را از طریق هدفون می شنود.

تصویری از یک میکروفون سهمومی

لیتوتریپسی



- گاهی سنگ های ایجاد شده در اندام های حفره دار مانند سنگ کلیه به حدی بزرگ است که بدن قادر به دفع آن ها نیست.
- در این حالت با استفاده از دستگاهی به نام «لیتوتریپسی» سنگ ها را خرد می کنند.
- با خرد شدن سنگ ها، قطعات کوچک آن می توانند از طریق مجاری بدن خارج شوند.
- در این دستگاه، امواج صوتی توسط یک سطح کاو روی سنگ متمرکز می شود، در این حالت انرژی تجمع یافته صوتی در محل سنگ، آن را خرد می کند.

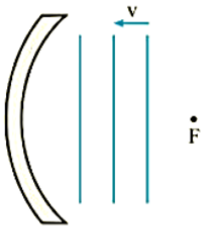
در کدام‌یک از موارد زیر، از مکان‌یابی پژواکی امواج فراصوت به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود؟ (تجربی داخل ۹۹)

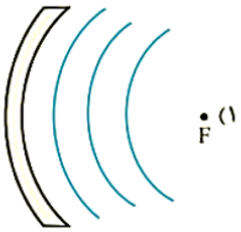
۱) میکروفون سهموی
۲) دستگاه لیتوتریپسی
۳) تعیین تندی خودروها
۴) تعیین تندی شارش خون (گویچه‌های قرمز) در رگ‌ها

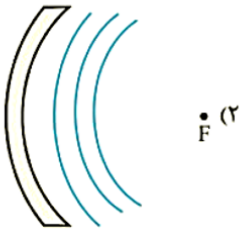
میکروفون سهموی که از آن برای ثبت صداهای ضعیف استفاده می‌شود، نمونه‌ای از بازتاب صوت از سطوح ..... است. امواج صوتی پس از بازتاب از این سطح در نقطه‌ای به نام ..... جمع می‌شوند.

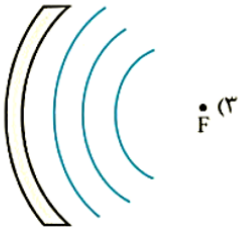
۱) تخت ـ کانون ۲) تخت ـ رأس ۳) کاو ـ کانون ۴) کاو ـ رأس

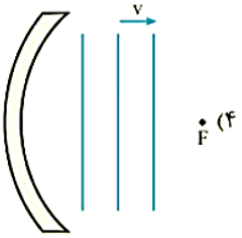
شکل روبه‌رو، جبهه‌های موج تختی را نشان می‌دهد که بر یک سطح کاو کروی‌شکل می‌تابند. کدام‌یک از شکل‌های زیر جبهه‌های موج بازتابیده از سطح را نشان می‌دهد؟



۱) 

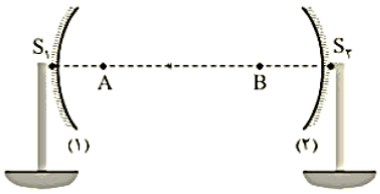
۲) 

۳) 

۴) 

در شکل زیر، شخصی در نقطهٔ A صحبت می‌کند ولی شخص دوم در نقطهٔ B صدای او را نمی‌شنود. اگر در امتداد خط‌چین، شخص A به اندازهٔ ۳۰ cm به طرف سطح کاو (۲) و شخص B به اندازهٔ ۴۰ cm به طرف سطح کاو (۱) بروند، شخص B می‌تواند بازتاب صدای شخص A را با حداکثر شدت ممکن بشنود. فاصلهٔ کانون‌های دو سطح کاو از یکدیگر چند متر است؟

$(S_1S_2 = 15\ m\ ،\ S_2B = 160\ cm\ ،\ S_1A = 120\ cm)$



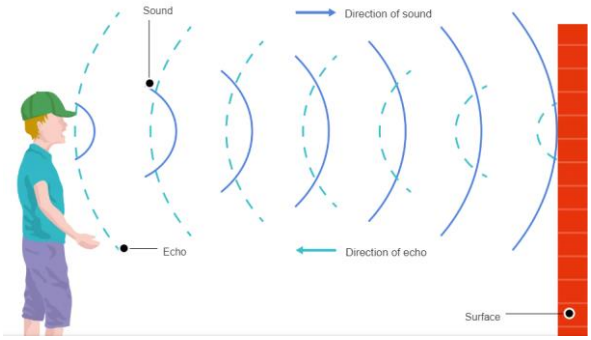
۱) ۱۰ ۲) ۱۰/۵

۳) ۱۱ ۴) ۱۱/۵

پژواک

- اگر دو صوت با تأخیر زمانی 0.1 ثانیه به گوش انسان برسد، انسان آن دو صوت را به صورت جداگانه می شنود.
- زمانی که صحبت می کنیم، فاصله زمانی صوتی که به دو گوش ما می رسد (از دهان به دو گوش) کمتر از 0.1 ثانیه است بنابراین گوش های انسان یک صوت را می شنود.

- اما اگر صوت به مانعی در فاصله مناسب برخورد کند به طوری که بیش از 0.1 ثانیه بعد، مجددا به گوش برسد، دو تا صوت شنیده می شود، یکی صدای اصلی و دیگری صدای بازتابیده شده.
- اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می شنود، پژواک رخ می دهد.

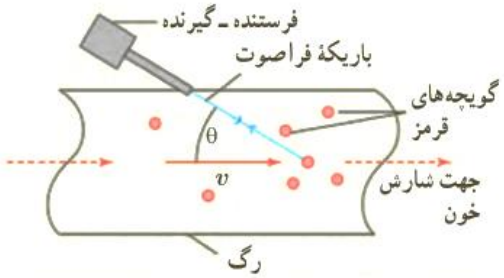


مثال: اگر فاصله شخصی از یک دیوار بلند حداقل ۱۹ متر باشد، او می تواند پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهد، تندی صوت در این محیط چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۳۶۰ ۲) ۳۸۰ ۳) ۳۳۰ ۴) ۳۱۰

مکان یابی پژواکی

- با استفاده از مکان یابی پژواکی، می توان براساس امواج صوتی بازتابیده از یک جسم، مکان آن جسم را تعیین کرد.
- در روش مکان یابی پژواکی، امواجی با بسامد مشخص به سمت هدف گسیل می شود، سپس انعکاس آنها دریافت شده و با توجه به زمان بازگشت موج (صوت) فاصله مانع تشخیص داده می شود.
- مکان یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر، در تعیین مکان اجسام متحرک و نیز تعیین تندی آنها به کار می رود.
- برخی از جانوران نظری خفاش و دلفین از این روش استفاده می کنند.
- همین طور در فناوری هایی نظیر اندازه گیری تندی شارش خون در رگ ها نیز از این روش استفاده می شود.



- خفاش فورانی از امواج فراصوتی را گسیل می کند که این بسته به نوع خفاش از دهان یا سوراخ های بینی آن گسیل می شود.
- این امواج از اشیایی که در مسیر خفاش قرار دارند باز می تابد و بدین ترتیب خفاش را از اشیایی که بر سر راه او قرار داند آگاه می سازد.
- البته بسته به اینکه شیء بازتابنده متحرک باشد یا اینکه خود خفاش یا هر دو متحرک باشند، خفاش تغییر بسامدی ناشی از اثر دوپلر را در موج بازتابیده درک می کند در نتیجه سرعتخود یا شیء متحرک را تعیین می کند.
- علاوه بر خفاش ها، در دستگاه سونار که برای مکان یابی احسام زیر در کشتی ها، و در سونوگرافی هم از مکان یابی پژواکی استفاده می شود.

شرایط طول موج در مکان یابی پژواکی

- دقت کنید برای تشخیص یک جسم از طریق مکان یابی پژواکی، باید ابعاد جسم بزرگتر یا مساوی طول موج ارسال شده باشد.
- اگر ابعاد جسم کوچکتر از طول موج ارسالی باشد، موج در برخورد با مانع، پراشیده شده و به خوبی بازتابیده نمی شود.
- بنابراین یک جانور مانند وال، زمانی می تواند یک ماهی را تشخیص دهد که ابعاد ماهی در حدود طول موج یا بزرگتر از طول موج ارسالی به سمت آن باشد.

نوعی وال با استفاده از پژواک امواج فراصوتی مکان یابی می کند. بسامد امواج فراصوتی این وال معادل 150 kHz است. اگر تندی صوت در آب دریایی که این وال زندگی می کند معادل 1200 m/s باشد، حداقل طول جانوری که این وال می تواند ردیابی کند چند سانتی متر است؟

۱) 1 ۲) 1/25 ۳) 0.8 ۴) 0.5

صوت حاصل از یک چشمهٔ ساکن، در مدت ۰/۴ ثانیه به یک دیوار برخورد کرده و به محل چشمه برمی‌گردد. اگر بسامد چشمهٔ صوت ۴۰ کیلوهرتز و طول موج ۸/۷۵ میلی‌متر باشد، فاصلهٔ چشمهٔ صوت تا دیوار چند متر است؟ *(سراسری تجربی ۹۵)*

۱) ۳۵ ۲) ۷۰ ۳) ۱۴۰ ۴) ۱۷۵

شخصی بین دو صخرهٔ قائم و موازی ایستاده است و فاصله‌اش از صخرهٔ نزدیک‌تر ۵۱۰ متر است. اگر این شخص فریاد بزند، اولین پژواک صدای خود را ۳ ثانیهٔ بعد می‌شنود و پژواک دوم را یک ثانیه پس از آن می‌شنود. فاصلهٔ بین دو صخره چند متر است؟ *(سراسری تجربی ۹۸)*

۱) ۱۳۶۰ ۲) ۱۱۹۰ ۳) ۱۰۲۰ ۴) ۸۵۰

اگر اختلاف زمانی بین یک صوت و پژواک آن صوت کم‌تر از ۰/۱s باشد، گوش انسان نمی‌تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد. با توجه به این‌که تندی صوت در هوا ۳۴۰ m/s است، کم‌ترین فاصلهٔ بین یک شخص و یک دیوار بلند چند متر باشد تا بتواند پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهد؟ *(تمرین کتاب درسی)*

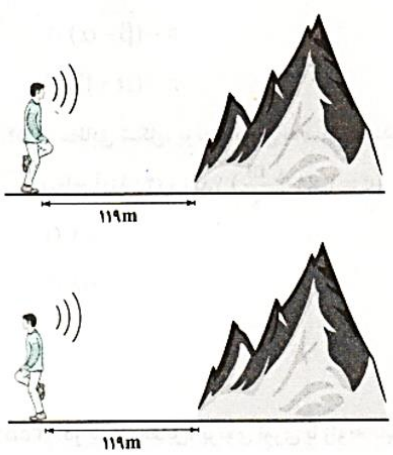
۱) ۱۷ ۲) ۳۴ ۳) ۶۸ ۴) ۸۵

تندی صوت در آب دریا حدود $1500\ m/s$ است و بسامد امواج فراصوتی‌ای که یک وال عنبر تولید می‌کند، حدود $100\ kHz$ است. ماهی کوچکی به طول $1\ cm$ در فاصلهٔ ۷۵ متری از این وال قرار دارد. زمان رفت و برگشت صوت گسیل‌شده از وال تا ماهی چند ثانیه است؟ آیا وال می‌تواند این ماهی را تشخیص دهد؟ *(مثال کتاب درسی، با تغییر)*

۱) ۰/۰۵، بله ۲) ۰/۰۵، خیر ۳) ۰/۱، بله ۴) ۰/۱، خیر

شخصی با سرعت $5\ m/s$ در راستای افقی و عمود بر یک دیوار بلند به طرف دیوار می‌دود. اگر فاصلهٔ شخص از دیوار در لحظهٔ $t = 0$، برابر با $4225\ cm$ باشد، پیش از رسیدن به دیوار، حداکثر تا چه لحظه‌ای برحسب ثانیه، شخص می‌تواند پژواک صدایش از دیوار را از صدای اصلی خود تمیز دهد؟ (تندی صوت در هوا $340\ m/s$ است.)

۱) ۴/۹ ۲) ۵/۰ ۳) ۵/۱ ۴) ۵/۲



مطابق شکل، شخصی یک‌بار هنگامی که به‌سمت یک کوه حرکت می‌کند، فریاد می‌زند و بار دوم هنگامی که با همان تندی از کوه دور می‌شود، فریاد می‌زند. اگر شخص پژواک صدای خود را در حالت‌های اول و دوم به‌ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۷ ثانیه پس از فریاد زدن بشنود، تندی حرکت شخص و تندی انتشار صوت در محیط به‌ترتیب از راست به چپ چند متر بر ثانیه است؟

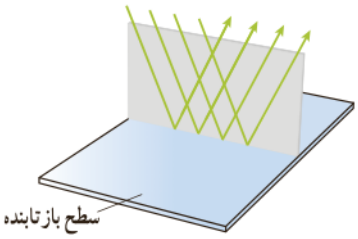
۱) ۰/۵، ۳۴۰
۲) ۰/۵، ۳۴۵
۳) ۲/۵، ۳۴۰
۴) ۲/۵، ۳۴۵

بازتاب امواج الکترومغناطیسی

- بازتاب امواج الکترومغناطیسی همانند امواج صوتی، نمونه ای از بازتاب امواج در سه بعد می باشد.
- بنابراین قانون بازتاب عمومی در امواج الکترومغناطیسی (از جمله نور مرئی) برقرار است.

مطابق این قانون:

- زاویه تابش و بازتابش با هم برابر است.
- پرتوی تابش، پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده، هر سه در یک صفحه قرار دارند.



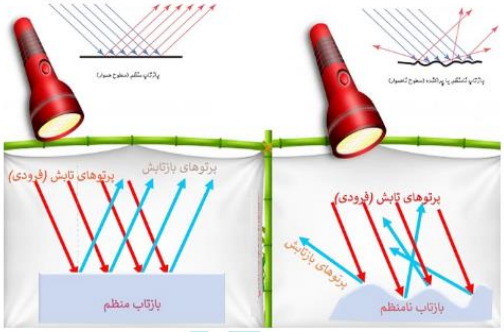
- در بسیاری از موارد، زاویه تابش را به جای θi با i و زاویه بازتابش را به جای θr با r نشان می دهیم.

انواع بازتاب

در امواج الکترومغناطیسی، دو نوع بازتابش از روی سطوح وجود دارد:

بازتابش آینه ای (منظم):

- این نوع بازتابش در سطوح صیقلی و آینه ای دیده می شود.
- پرتوهای موازی پس از برخورد به سطح، به صورت موازی بازتابیده می شوند.
- با این نوع بازتابش، ما تصویر اشیاء را در آینه مشاهده می کنیم.



بازتابش پخشنده (نامنظم):

- این نوع بازتابش در سطوح ناهموار دیده می شود.
- زمانی که یک دسته پرتوی موازی به سطح ناهموار برخورد می کند، پرتوها با طور نامنظم و غیرموازی از سطح بازتابیده می شوند.
- پرتوهای بازتابیده در همه جهات پراکنده می شوند.
- برای مثال، بازتابش از روی سطوح غیر آینه ای، مانند دیوار از این نوع است.

سطوح صیقلی برای یک موج خاص

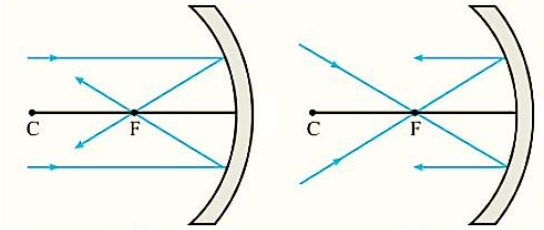
- حتی سطوح به ظاهر صیقلی از پشت میکروسکوپ دارای پستی و بلندی هایی هستند که ناهموار به نظر می رسند.
- به عبارتی سطح صددرصد صیقلی وجود ندارد.
- اما تعریف سطح صیقلی، وابسته به طول موج نور می باشد.
- سطح هموار به سطحی گفته می شود که پستی و بلندی های آن کوچک تر از طول موج نور می باشد.
- همچنین، سطح ناهموار سطحی است که پستی و بلندی های آن بزرگ تر از طول موج نور است.
- طول موج نور مئری حدود 0.5 میکرومتر است. (در حد ۵۰۰ نانومتر)
- بنابراین ناهمواری های سطح یک آینه صاف باید از این حد کوچک تر (بسیار کوچک تر از ۱ میکرومتر) باشد تا بتواند نور را به صورت موازی و منظم بازتابش کند.
- همچنین برای مثال، یک کاغذ که بازتابش غیرآینه ای یا نامنظم دارد، دارای ناهمواری های میکروسکوپی بسیار بزرگتر از ۱ میکرومتر می باشد.

دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷

- به عبارتی آینه برای نور مرئی یک سطح هموار و کاغذ برای نور مرئی یک سطح ناهموار است.

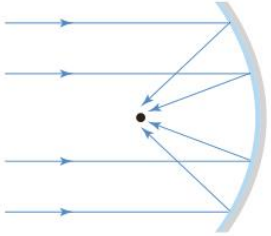
بازتاب امواج الکترومغناطیسی از سطوح کاو

- نحوه بازتابش امواج الکترومغناطیس از سطوح کاو همانند امواج صوتی تحت است.
- هرگاه یک دسته پرتو به موازات محور اصلی آینه کاو به این آینه بتابد، پس از بازتابش، روی کانون آن متمرکز می شود.
- و اگر پرتوهایی از کانون یک آینه کاو عبور کند، به صورت موازی از سطح آینه کاو بازتابش می شوند.



اجاق های خورشیدی و آنتن های ماهواره ای

- از بازتاب امواج الکترومغناطیسی در سطوح کاو می توان در اجاق های خورشیدی و یا آنتن های ماهواره ای استفاده کرد.
- در اجاق های خورشیدیف امواج فروسرخ خورشید روی کانون اجاق خورشیدی متمرکز می شود.
- با تمرکز نور خورشید روی کانون، می توان از گرمای آن برای پختن یا گرم کردن استفاده کرد.
- همچنین در آنتن های بشقابی، LNB روی کانون بشقاب (یک سطح کاو) قرار داده می شود تا بازتابش امواجی که از ماهواره (فاصله بسیار دور) به سطح کاو می رسد، را دریافت کند.



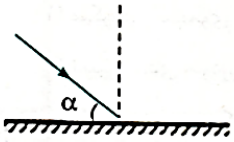
اثر دوپلر در امواج الکترومغناطیسی و رادار دوپلری

- رادارهای مانند دستگاه های سونار عمل می کنند.
- از رادارهای برای مکان یابی پژواکی و تعیین تندی اجسام متحرک می توان استفاده کرد.
- رادارها به جای امواج صوتی، امواج رادیویی (یا مایکروویو) را به سمت جسم ارسال می کنند.
- دستگاه زمان بازگشت موج را اندازه گیری کرده و فاصله جسم از دستگاه را معلوم می کند. (مکان یابی پژواکی)
- همچنین اثر دوپلر در امواج الکترومغناطیسی هم مشاهده می شود.
- بنابراین بسامد موج برگشتی می تواند تندی جسم را مشخص کند. (اثر دوپلر)

در یک آینهٔ تخت زاویهٔ بین پرتوی تابش با سطح آینه، برابر با زاویهٔ بین پرتوی تابش با پرتوی بازتاب است. در این صورت زاویهٔ پرتوی بازتابش با سطح آینه چند درجه است؟

۱) ۶۰ ۲) ۴۵ ۳) ۳۰ ۴) ۷۵

در شکل زیر، اگر زاویهٔ بین پرتوی تابش و سطح آینه را ۱۰ درجه کاهش دهیم، زاویهٔ بین پرتوی تابش و بازتابش، ۲۰ درصد تغییر می‌کند. زاویهٔ بازتابش در حالت اول چند درجه بوده است؟



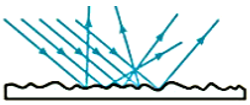
۱) ۲۰ ۲) ۶۰
۳) ۴۰ ۴) ۵۰

در شکل نشان‌داده‌شده، امتداد پرتوهای خورشید با زاویهٔ 40° نسبت به افق بر سطح آینهٔ تختی می‌تابند. اگر این پرتوها پس از بازتاب، در راستای قائم و به‌سمت پایین منحرف شوند، زاویه‌ای که آینهٔ تخت با راستای افق می‌سازد (γ)، چند درجه است؟

۱) ۲۵
۲) ۱۵
۳) ۷۵
۴) ۶۵

در یک آینهٔ تخت زاویه‌ای که بین پرتوی تابش و پرتوی بازتابش ایجاد می‌شود، ۴ برابر زاویه‌ای است که پرتوی تابش با آینه می‌سازد. زاویهٔ تابش چند درجه است؟ *(سراسری ریاضی ۸۳)*

۱) ۳۰ ۲) ۴۵ ۳) ۶۰ ۴) ۷۲



شکل مقابل، طرحی از یک نوع بازتاب نور را نشان می‌دهد. این بازتاب از نوع ..... است و در این بازتاب، زاویهٔ بازتابش با زاویهٔ تابش برابر ..... .

(برگرفته از متن کتاب درسی)

۱) آینه‌ای، است ۲) آینه‌ای، نیست ۳) پخشنده، است ۴) پخشنده، نیست

امواج مرئی با بسامد $5\times10^{14}\ Hz$ و امواج رادیویی با بسامد $1\ GHz$ در برخورد با مقوایی که ابعاد ناهمواری‌های آن $10\ \mu m$ است، به ترتیب (از راست به چپ) چگونه بازتابیده می‌شوند؟ $(c = 3\times10^{8}\ m/s)$

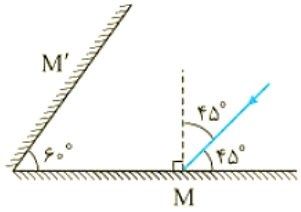
۱) آینه‌ای، منظم ۲) آینه‌ای، نامنظم ۳) پخشنده، منظم ۴) پخشنده، نامنظم

بازتابش از آینه های تخت متقاطع

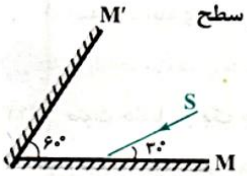
- در بسیاری از موارد، با آینه هایی روبرو هستیم که متقاطع هستند.
- متداولترین این مسائل، مربوط به دو آینه متقاطع است.
- با توجه به چند مورد زیر، به راحتی می توانید زاویه بین پرتوی تابیده به آینه اول و پرتوی بازتابیده از آینه دوم را محاسبه کنید.
- اگر زاویه بین دو آینه را با نماد α و زاویه بین پرتوی تابیده به آینه اول و پرتوی بازتابیده از آینه دوم را با D نشان دهیم:
  - اگر $\alpha < 90$ باشد آنگاه $D = 2\alpha$
  - اگر $\alpha = 90$ باشد آنگاه $D = 180$
  - اگر $90 < \alpha < 180$ باشد، آنگاه $D = 360 - 2\alpha$

در شکل زیر، زاویه بین پرتوی بازتابیده از آینه M' با پرتوی تابش اولیه به آینه M چه زاویه ای می سازد؟

۱) 120 ۲) 60 ۳) 45 ۴) 30



در شکل روبه‌رو، پرتوهای موج رادیویی پس از بازتاب از سطح بازتابندهٔ M، به سطح بازتابندهٔ M' می‌تابند. زاویهٔ تابش در سطح M' چند درجه است؟

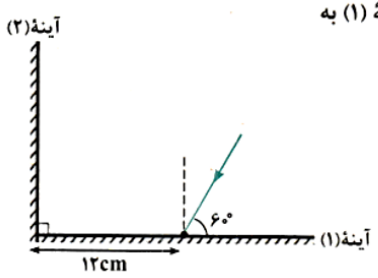


۱) صفر
۲) ۳۰
۳) ۶۰
۴) ۹۰

پرتوی نوری با زاویهٔ تابش ۳۰ درجه به یک آینهٔ تخت می‌تابد و بعد از بازتاب از آن به آینهٔ تخت دیگر برخورد می‌کند. اگر دو آینه با هم زاویهٔ ۴۵ درجه بسازند، زاویهٔ بازتاب از آینهٔ دوم چند درجه است؟ (تجربی داخل ۹۷)

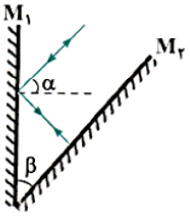
۱) ۱۵
۲) ۲۰
۳) ۲۵
۴) ۳۰

مطابق شکل، پرتوی نوری به سطح آینهٔ (۱) می‌تابد. چند نانو ثانیه طول می‌کشد تا پرتوی بازتابش از سطح آینهٔ (۱) به سطح آینهٔ (۲) برسد؟ $(c = ۳\times ۱۰^{۸}\ \frac{m}{s})$



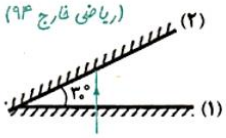
۱) ۰/۲
۲) ۰/۴
۳) ۰/۸
۴) ۱/۲

در شکل مقابل، پرتوی نوری با زاویهٔ تابش α به آینهٔ $M_۱$ می‌تابد و پرتوی بازتاب، به‌صورت قائم به آینهٔ $M_۲$ می‌تابد. کدام رابطه بین α و β همواره برقرار است؟



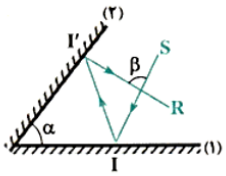
۱) $\alpha = \beta$
۲) $\beta = ۲\alpha$
۳) $\alpha = ۲\beta$
۴) $\alpha + \beta = ۹۰^{\circ}$

دو آینهٔ تخت با طول زیاد، مطابق شکل زیر با هم زاویهٔ 30° می‌سازند. در آینهٔ (۱) روزنه‌ای ایجاد شده و باریکهٔ نور به‌طور عمود بر آینهٔ (۱)، از آن می‌گذرد. این باریکهٔ نور چند بار در برخورد به آینه‌ها بازتاب خواهد شد؟ (ریاضی خارج ۹۴)



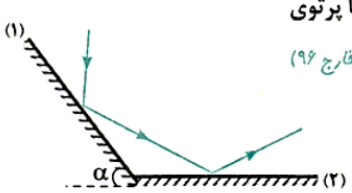
۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

مطابق شکل، پرتوی SI پس از بازتابش از آینه‌های تخت در مسیر I′R بازتاب می‌شود. اندازهٔ زاویهٔ β چند برابر زاویهٔ α است؟ (ریاضی خارج ۹۲)



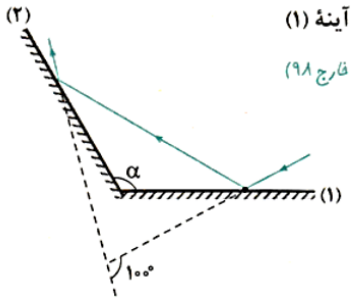
۱) ۱
۲) ۲
۳) $\frac{۳}{۲}$
۴) بستگی به زاویهٔ تابش آینهٔ (۱) دارد.

مطابق شکل، پرتوی نوری به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد و در نهایت از آینهٔ تخت (۲) بازتاب می‌شود. پرتوی تابش به آینهٔ (۱) با پرتوی بازتابش از آینهٔ (۲)، چه زاویه‌ای می‌سازد؟ (تجربی خارج ۹۶)



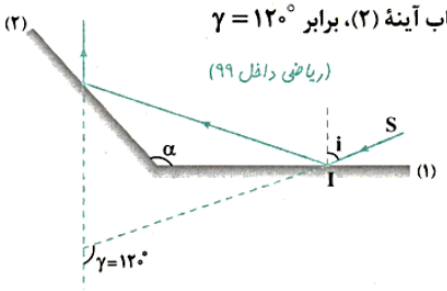
۱) α
۲) ۲α
۳) $۱۸۰-\alpha$
۴) $۹۰+\alpha$

مطابق شکل، پرتوی نوری به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب، به آینهٔ (۲) برخورد می‌کند. اگر امتداد پرتوی تابش آینهٔ (۱) با امتداد پرتوی بازتاب آینهٔ (۲) زاویهٔ 100° بسازد، α چند درجه است؟ (ریاضی خارج ۹۸)



۱) ۱۰۰
۲) ۱۲۰
۳) ۱۳۰
۴) ۱۴۰

مطابق شکل، پرتوی SI تحت زاویهٔ تابش i به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد. زاویهٔ بین پرتوی SI با پرتوی بازتاب آینهٔ (۲)، برابر $\gamma = 120^\circ$ است. اگر زاویهٔ i، 20° افزایش یابد، γ چه تغییری می‌کند؟



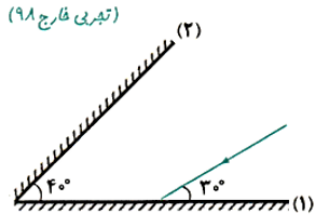
۱) 40° افزایش می‌یابد.

۲) 20° افزایش می‌یابد.

۳) 20° کاهش می‌یابد.

۴) ثابت می‌ماند.

مطابق شکل، پرتوی نوری به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینهٔ (۲) می‌تابد و در ادامهٔ مسیرش دوباره از آینهٔ (۲) بازتاب می‌شود. زاویهٔ بازتاب آینهٔ (۲)، در دومین بازتاب چند درجه است؟



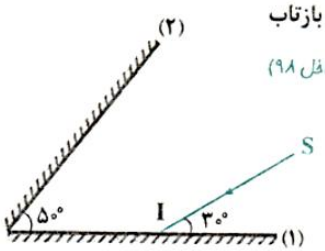
۱) ۶۰

۲) ۵۰

۳) ۴۰

۴) ۳۰

مطابق شکل، پرتوی نور SI به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب از آینهٔ (۲)، دوباره به آینهٔ (۱) می‌تابد. امتداد پرتوی بازتاب نهایی، با امتداد پرتوی SI زاویهٔ چند درجه می‌سازد؟



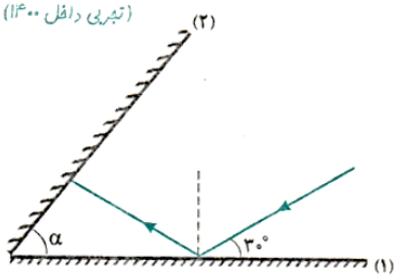
۱) ۱۰۰

۲) ۱۴۰

۳) ۱۶۰

۴) ۱۸۰

مطابق شکل، پرتوی نوری تحت زاویهٔ 30° به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینهٔ تخت (۲) می‌تابد. اگر در دومین بازتاب از آینهٔ (۱)، پرتوی نور موازی آینهٔ (۲) شود، زاویهٔ α چند درجه است؟



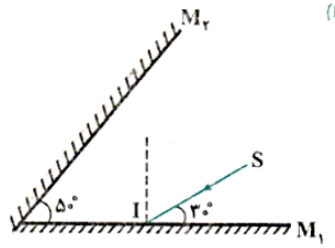
۱) ۳۰

۲) ۴۰

۳) ۵۰

۴) ۶۰

در شکل مقابل، امتداد پرتو نور بازتابیده از آینهٔ M_2 با امتداد پرتو SI، زاویهٔ چند درجه می‌سازد؟ (تجربی خارج ۱۴۰۰)



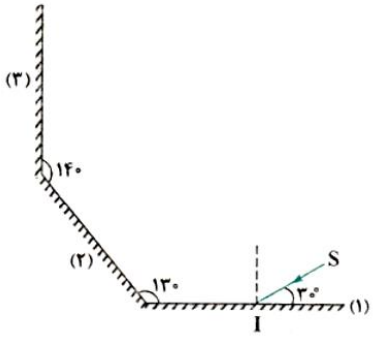
۱) ۴۰

۲) ۷۰

۳) ۱۰۰

۴) ۱۱۰

مطابق شکل، پرتوی نور SI به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب از سطح آینهٔ (۲)، در نهایت از آینهٔ (۳) بازتاب می‌شود. پرتو بازتاب نهایی با امتداد پرتو SI زاویهٔ چند درجه می‌سازد؟



۱) ۴۰

۲) ۱۲۰

۳) ۱۴۰

۴) ۱۶۰

پرتوی نوری با چه زاویهٔ تابشی به یکی از دو آینهٔ تخت که با هم زاویهٔ 60° ساخته‌اند بتابد تا پرتوی خروجی و ورودی بر هم منطبق شوند؟ (سراسری ریاضی خارج ۸۴)

۱) ۳۰ ۲) ۴۵ ۳) ۶۰ ۴) ۹۰

دوران آینه تخت

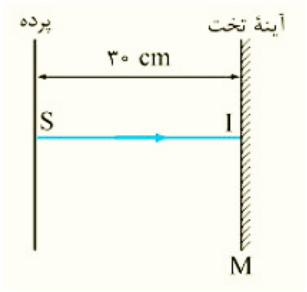
- اگر با ثابت بودن پرتوی تابش، یک آینه تخت به اندازه α دوران کند، پرتوی بازتابش در همان جهت اما به اندازه 2α دوران خواهد کرد.
- برای مثال اگر یک آینه تخت را با ثابت بودن پرتو تابش، به اندازه ۳۰ درجه در جهت ساعتگرد دوران دهیم، پرتو بازتابش به اندازه ۶۰ درجه در همان جهت ساعتگرد جابجا می شود.

در یک آینه تخت، شعاع تابش با آینه زاویه ۲۰ درجه می سازد. با ثابت نگه داشتن شعاع تابش، آینه را ۱۵ دوران می دهیم. شعاع تابش و بازتابش در این حالت چه زاویه ای با هم می سازند؟

۱) ۱۷۰ ۲) ۸۵ ۳) ۵۵ ۴) ۱۷۰ یا ۱۱۰

در شکل زیر، شعاع نور SI عتمود بر آینه تخت M می تابد. اگر آینه را حول محوری که از I گذشته و بر صفحه کاغذ عمود است به اندازه ۳۰ درجه بچرخانیم، پرتوی بازتابش در چند سانتی متری نقطه S بر روی پرده می افتد؟

۱) $10\sqrt{3}$ ۲) $15\sqrt{2}$ ۳) $30\sqrt{3}$ ۴) $30\sqrt{2}$



شکست موج

- زمانی که یک موج به مرز مشترک بین دو محیط می رسد، چند رویداد رخ می دهد:
  - بخشی از موج از مرز بین دو محیط بازتابیده می شود. این پدیده از قوانین بازتابش پیروی می کند.
    - دامنه موج بازتابیده شده به محیط اول در مقایسه با دامنه موج اولیه کوچک تر خواهد بود.
    - بنابراین انرژی موج بازتابیده شده نسبت به موج اولیه کمتر خواهد بود.
    - به عبارتی کاهش انرژی موج بازتابیده به محیط اول به شکل کاهش دامنه آن بروز می کند.
  - بخشی از موج وارد محیط دوم می شود.
    - مطابق قانون پایستگی انرژی، اگر از اتلاف انرژی صرف نظر کنیم، مجموع انرژی دو موج بازتابیده شده و وارد شده به محیط دوم، باید برابر با انرژی موج اولیه باشد.
    - بسامد هر دو موج وارد شده به محیط دوم و موج بازتابیده شده به محیط اول با هم برابر بوده و با بسامد موج اولیه برابر است.

بازتابش موج در طناب

- به شکل زیر توجه کنید، طنابی از دو بخش نازک و ضخیم تشکیل شده است.
- یک تپ یا موج در قسمت نازک طناب ایجاد شده، و به سمت بخش ضخیم آن حرکت می کند.
- زمانی که موج به مرز دو قسمت نازک و ضخیم می رسد، بخشی از موج از مرز، بازتابیده شده و بخشی دیگر وارد قسمت ضخیم می شود.
- اگر موج به صورت سینوسی باشد، بسامد موج اولیه و موج های ثانویه یکسان بوده و برابر با بسامد چشمه موج است.

شکست موج در یک بعد (طناب)

زمانی که موج در طناب از قسمت نازک به قسمت ضخیم وارد می شود، سرعت و طول موج آن تغییر می کند. به این پدیده شکست موج در یک بعد گفته می شود.

- چگالی خطی جرم طناب ضخیم تر بزرگ تر از چگالی خطی جرم طناب نازک است، بنابراین تندی و طول موج در طناب ضخیم کمتر از تندی و طول موج در طناب نازک است.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{\mu_{ضخیم} > \mu_{نازک}} v_{ضخیم} < v_{نازک} \qquad \lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{\lambda_{ضخیم} < \lambda_{نازک}} \lambda_{ضخیم} < \lambda_{نازک}$$

- دقت کنید که بسامد، دوره تناوب و بسامد زاویه ای یک موج به چشمه موج وابسته است و با گذر یک موج از یک محیط به محیط دیگر، تغییر نمی کنند.

تعریف علمی شکست موج

- اگر موجی در دو یا سه بعد منتشر شود و به طور مایل به مرز جدایی دو محیط بتابد، پس از ورود به محیط دوم از مسیر اولیه اش منحرف می شود، به این پدیده شکست گفته می شود.
- برای مثال، زمانی که یک ماشین اسباب بازی یا اسکوتر با سرعت ثابت روی کف صاف در حال حرکت است و در همین حال وارد فرش می شود،
- اگر این اسباب بازی به صورت عمود بر مرز جدایی وارد فرش شود، انحرافی رخ نمی دهد.
- اما اگر به صورت مایل وارد شود یعنی یکی از چرخ های جلو زودتر از دیگری وارد فرش شود، اسباب بازی از مسیر خود منحرف می شود.

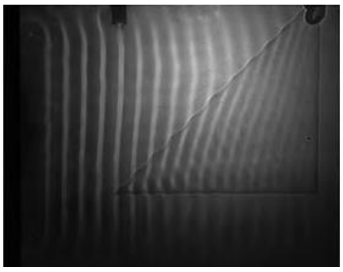
تغییر مشخصه های موج در پدیده شکست

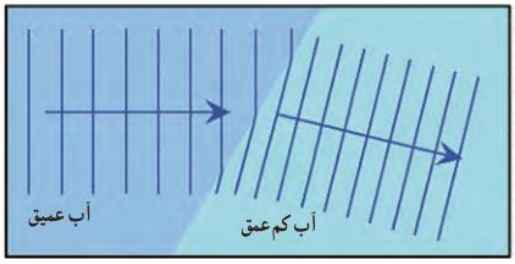
- در پدیده شکست موج، تندی و طول موج تغییر می کند. (وابسته به محیط انتشار موج)
- اما بسامد، بسامد زاویه ای و دوره تناوب موج ثابت باقی می ماند. (وابسته به چشمه موج)
- با کاهش تندی موج در محیط جدید، جبهه های این موج به خط عمود نزدیکتر می شود.

پدیده شکست در امواج مکانیکی آب

- می دانیم تندی امواج روی سطح آب به عمق آن بستگی دارد.
- بنابراین اگر عمق آب را تغییر دهیم می توانیم شکست امواج آب را بررسی کنیم.

- اگر در تشت آب یا استخر آبی که در یک قسمت آن به طور محسوس عمق با نقاط قبل از آن متفاوت است، موجی را ایجاد کنیم.
- این موج زمانی که به مرز دو ناحیه کم عمق و عمق زیاد می رسد، به شرطی که به طور مایل وارد محیط جدید شود سرعت آن تغییر می کند و از مسیر مستقیم خود منحرف می شود.





- آن قسمت از موج که زودتر به ناحیه کم عمق می رسد، تندی کمتری دارد بنابراین از بقیه جبهه موج که هنوز وارد این ناحیه نشده است عقب می افتد.
- در نتیجه فاصله بین جبهه های موج کاهش یافته و طول موج کمتر می شود.
- به این ترتیب، در مرز دو ناحیه تغییر جهت یا انحراف رخ می دهد.
- بنابراین:
  - سرعت ناحیه کم عمق تر کمتر است.
  - طول موج ناحیه کم عمق تر کمتر است.
  - دقیقا با همان نسبتی که سرعت کاهش پیدا کرده است، طول موج هم کاهش می یابد.
  - زاویه موج با خط عمود بر مرز جدایی دو محیط در ناحیه دوم کمتر است.
  - بسامد، بسامد زاویه ای و دوره تناوب در هر دو محیط با هم برابر است.

در یک تشت موج، به کمک یک نوسان ساز تیغه ای امواج تخت ایجاد می شود. اگر نوسان ساز با بسامد $10\ Hz$ کار کند امواج تختی ایجاد می شود که فاصله بین دو برآمدگی متوالی، در ناحیه کم عمق و عمیق، با هم ۲۰ سانتی متر اختلاف داشته باشد و تندی موج آب در ناحیه کم عمق، نسبت به ناحیه عمیق، به اندازه ۴۰ درصد تغییر کند، طول موج در ناحیه عمیق چند سانتی متر است؟

۱) ۵۰ ۲) ۲۵ ۳) ۷۵ ۴) داده های مسأله کافی نیست.

در آب، با کاهش عمق، تندی و طول موج کاهش می یابد. بنابراین تندی و طول موج در ناحیه کم عمق به اندازه ۴۰ درصد کمتر می شود.

$$v_2 < v_1 \Rightarrow v_2 = v_1 - 0.40v_1 = 0.60\ v_1 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = 0.60 = \frac{6}{10} = \frac{3}{5}$$

می دانیم، تندی و طول موج با یک نسبت تغییر می کنند.

بنابراین:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{3}{5} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{3}{5}\lambda_1$$

$$\lambda_1 - \lambda_2 = 20 \Rightarrow \lambda_1 - \frac{3}{5}\lambda_1 = 20 \Rightarrow \frac{2}{5}\lambda_1 = 20 \Rightarrow \lambda_1 = 50\ cm$$

در رابطه با شکست موج، چه تعداد از گزاره‌های زیر صحیح است؟

الف) شکست موج نوعی برهم‌کنش بین موج و ماده است.

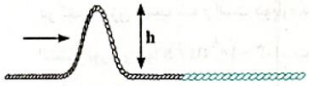
ب) در اثر شکست موج، بسامد موج ثابت ولی تندی آن تغییر می‌کند.

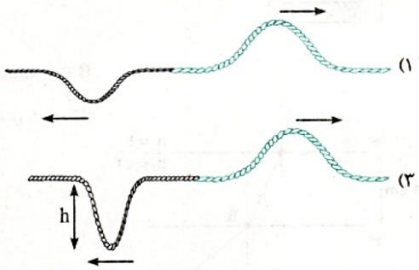
پ) پدیدهٔ شکست موج برای تمامی امواج صدق می‌کند.

ت) میکروسکوپ و دوربین از جمله ابزاری هستند که از مفهوم شکست موج استفاده می‌کنند.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

مطابق شکل، موجی درون طنابی سبک در حال پیشروی است. کدام گزینه نحوهٔ عبور و بازتاب موج را از مرز دو طناب سبک و سنگین به‌درستی نشان می‌دهد؟



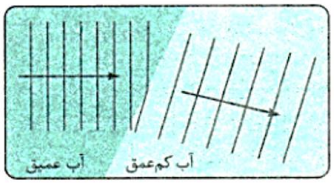
۱)


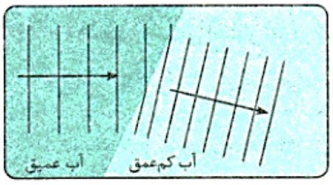
۲)

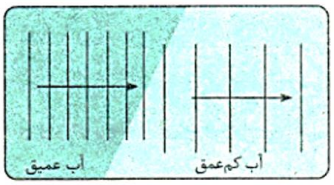
۳)

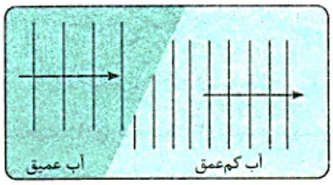
۴)

کدام گزینه جبهه‌های موج سطحی در مرز آب عمیق و کم‌عمق را به‌درستی نشان می‌دهد؟

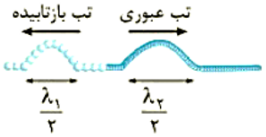
۱)


۲)


۳)


۴)


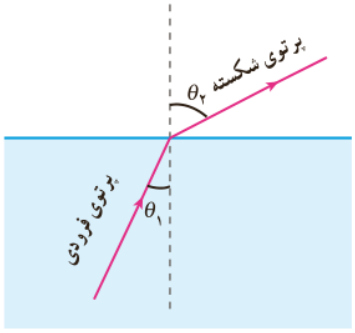
مطابق شکل، دو طناب هم‌جنس که قطر یکی ۲ برابر دیگری است، در یک نقطه به هم گره خورده و طناب مرکب را بین دو نقطه بسته‌ایم. نوسان‌هایی با طول موج $\lambda_1 = 4\ cm$ در طناب ضخیم ایجاد می‌کنیم. طول موج ایجادشده در طناب نازک چند سانتی‌متر است؟



۱) ۱ ۲) ۲ *(برگرفته از پرسش کتاب درسی)* ۳) ۸ ۴) ۱۶

قانون شکست عمومی

- زمانی که موجی به صورت مایل، از محیط اول وارد محیط دوم می شود. پدیده شکست رخ می دهد.
- **جبهه های موج فرودی:** به جبهه هایی گفته می شود که در محیط اول هستند و به سمت مرز دو محیط می روند.
- **جبهه های موج شکسته:** به جبهه هایی گفته می شود که در محیط دوم قرار دارند و نسبت به محیط اول شکست پیدا کرده اند.
- **زاویه تابش:** به زاویه ای گفته می شود که موج فرودی با خط عمود بر مرز دو محیط می سازد. با θi یا θ1 نشان داده می شود.
- **زاویه شکست:** به زاویه ای گفته می شود که موج شکسته در محیط دوم با خط عمود بر مرز می سازد. با θr یا θ2 نشان داده می شود.



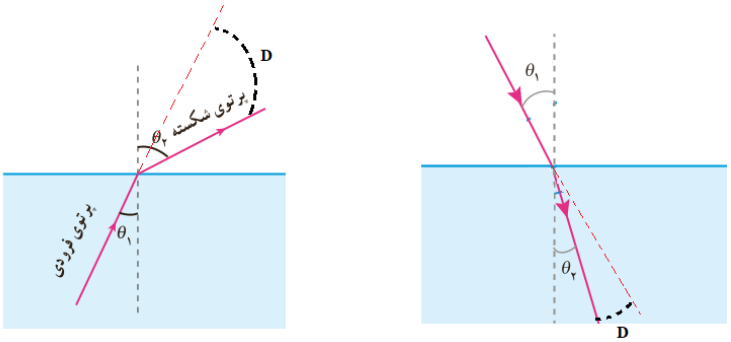
- قانون شکست عمومی به صورت زیر تعریف می شود: (V تندی موج است)

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

- همچنین برای طول موج هم می توان نوشت:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

- دقت کنید:
- اگر تندی یک موج در هنگام ورود به محیط دوم کاهش یابد، پرتو به خط عمود نزدیک تر شده و زاویه شکست کوچک تر از زاویه تابش خواهد بود. ($D = \theta_1 - \theta_2$)
- اگر تندی یک موج در هنگام ورود به محیط دوم افزایش یابد، پرتو از خط عمود دورتر شده و زاویه شکست بزرگ تر از زاویه تابش خواهد بود. ($D = \theta_2 - \theta_1$)
- زاویه بین پرتو تابش و پرتو شکست را با D نشان می دهیم. (زاویه انحراف)



دقت کنید:

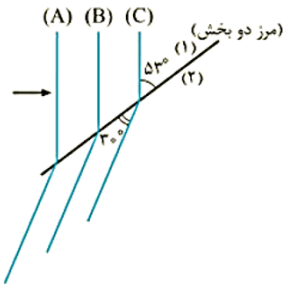
- می دانیم که با ورود موج به محیط جدید، بسامد، بسامد زاویه ای و دوره تناوب آن تغییری نمی کند.

پرتوی نوری با بسامد f، طول موج λ و تندی c در خلأ حرکت می‌کند. اگر این پرتو وارد محیط شفافی با ضریب شکست مطلق n شود، در این محیط بسامد، طول موج و تندی آن به‌ترتیب از راست به چپ برابر است با:

۱) $\frac{c}{n}, n\lambda, f$ ۲) $\frac{c}{n}, \frac{\lambda}{n}, \frac{f}{n^2}$ ۳) $\frac{c}{n}, \lambda, \frac{f}{n}$ ۴) $\frac{c}{n}, \frac{\lambda}{n}, f$

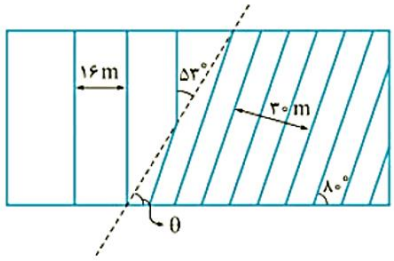
موجی با بسامد ۶۰ هرتز و طول موج ۰/۵ متر از محیط ۱ وارد محیط ۲ می‌شود. اگر تندی انتشار موج در محیط ۲، برابر با ۹۰ متر برثانیه باشد، بسامد و طول موج در محیط (۲) به‌ترتیب از راست به چپ (در SI) کدام است؟

۱) ۱۵۰ و ۱/۵ ۲) ۶۰ و ۰/۷۵ ۳) ۶۰ و ۱/۵ ۴) ۱۲۰ و ۰/۷۵



مطابق شکل، جبهه‌های امواج تخت روی سطح آب یک تشت موج از بخش (۱) به بخش (۲) با عمق متفاوت آب وارد می‌شود. تندی موج در بخش عمیق‌تر، چند برابر اختلاف تندی موج در دو بخش است؟ $(\sin 53^\circ = 0/8)$

۱) $\frac{8}{5}$ ۲) ۲ ۳) $\frac{5}{3}$ ۴) $\frac{8}{3}$



شکل مقابل، تصویری هوایی از یک آبگیر را نشان می‌دهد که در آن مرز بین دو ناحیهٔ کم‌عمق و عمیق به وسیلهٔ خط‌چین مشخص و جبهه‌های موج متوالی در آن رسم شده و عمق بخش کم‌عمق ۵۰ cm است. به ترتیب عمق بخش عمیق چند سانتی‌متر است و مرز بین دو ناحیه با راستای افق (θ_x) زاویهٔ چند درجه می‌سازد؟ (سرعت امواج سطحی در یک ناحیه متناسب با جذر عمق آب در آن ناحیه فرض شود.)

۱) ۳۰، ۸۰ ۲) ۵۰، ۸۰
۳) ۳۰، ۱۲۸ ۴) ۵۰، ۱۲۸

ضریب شکست

- برای هر محیط کمیتی به نام «**ضریب شکست**» تعریف می شود.
- ضریب شکست را با نماد n نشان می دهیم و نشان دهنده میزان برهمکنش یک محیط با موج الکترومغناطیسی عبوری از آن محیط است.

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

- مطابق رابطه فوق، به نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در هر محیط، ضریب شکست آن محیط گفته می شود.
- ضریب شکست کمیتی بدون واحد است.

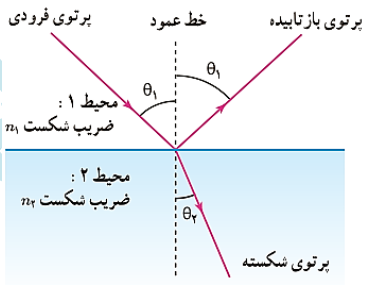
- ضریب شکست برای خلأ برابر با 1 است.
- برای محیط شفاف دیگر به جز خلأ، ضریب شکست بزرگ تر از 1 می باشد.
- ضریب شکست هوا و اکثر گازها با تقریب مناسب، برابر با یک در نظر گرفته می شود.
- ضریب شکست یک محیط برای طول موج های مختلف متفاوت است، در جداول معمولاً ضریب شکست برای نور زرد سدیم (طول موج ۵۸۹ نانومتر) تعریف می شود.

وابستگی ضریب شکست به عوامل مختلف

- عوامل مختلفی مانند دما و غلظت یک محیط شفاف (تراکم محیط) می تواند روی ضریب شکست مؤثر باشد.
- با افزایش تراکم یا چگالی یک محیط شفاف، معمولاً ضریب شکست آن محیط بیشتر می شود.
- برای مثال، ضریب شکست آب قند با غلظت 30 درصد، معادل 1.38 و برای آب قند با غلظت 80 درصد، معادل 1.49 می باشد.
- ضریب شکست یخ (معادل 1.31) از آب ۲۰ درجه (معادل 1.33) کمی کمتر است، یعنی تندی نور در یخ بیشتر از تندی نور در آب ۲۰ درجه است.
- می دانیم هرچه ضریب شکست یک محیط کمتر باشد، تندی نور در آن محیط بیشتر است.
- با افزایش دما، ضریب شکست کاهش می یابد.
- با افزایش طول موج، ضریب شکست کاهش می یابد.
- بنابراین ضریب شکست یک محیط برای نور قرمز کمتر از نور آبی یا بنفش است.

قانون شکست اسنل

- زمانی که یک پرتوی نور به طور مایل به مرز جدایی دو محیط شفاف می تابد، بخشی از آن به محیط اول باز می تابد و بخش دیگری وارد محیط جدید شده و به دلیل تفاوت در تندی پرتو در دو محیط، موج از مسیر اولیه خود منحرف می شود.

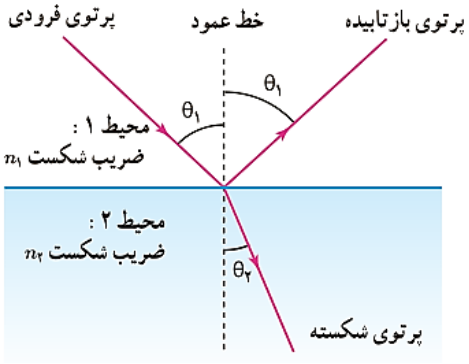


- مطابق قانون شکست اسنل داریم:

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

روابط کلی برای تغییر مشخصه های موج

- زمانی که یک موج الکترومغناطیسی از یک محیط (با ضریب شکست n_1) به محیط دیگر (با ضریب شکست n_2) وارد می شود، می توان نوشت:



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

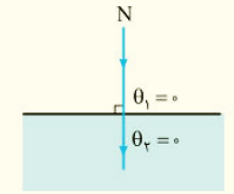
$$n_1 v_1 = n_2 v_2$$

$$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$$

$$f_1 = f_2$$

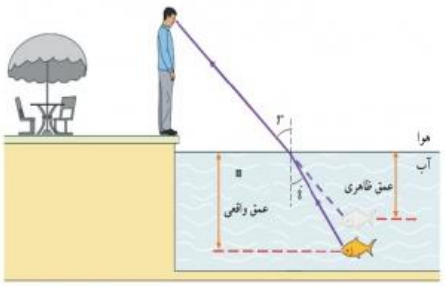
پرتو عمود بر مرز دو محیط

- اگر پرتویی به صورت عمود وارد محیط دوم شود، شکستی در آن رخ نمی دهد و به صورت عمود وارد محیط دوم می شود.

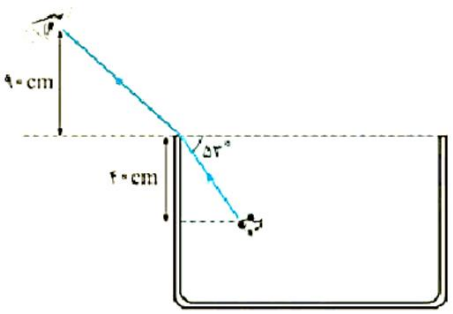


عمق تصویر، عمق جسم

- اگر یک ناظر از یک جسم شفاف مانند هوا به اجسام درون محیط شفاف دیگری مانند آب نگاه می کند، آن اجسام را در مکان واقعی آنها نمی بینند.



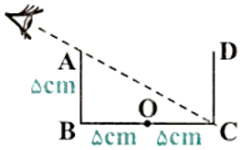
- اگر ضریب شکست محیط ناظر کمتر از محیط جسم باشد، ناظر جسم را در فاصله نزدیکتری به خود می بیند.
- و اگر ضریب شکست محیط ناظر بیشتر از محیط جسم باشد، ناظر جسم را در فاصله دورتری به خود می بیند.



مطابق شکل، یک ظرف کدر به طور کامل از آب پر شده و ماهی کوچکی در عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح آب قرار دارد. پرتوی نوری از ماهی به شخصی که در ارتفاع ۹۰ سانتی‌متری از سطح آب قرار دارد، می‌رسد. اگر ماهی ۱۰ cm به سمت چپ حرکت کند، برای این‌که شخصی بتواند ماهی را ببیند به طور تقریبی باید حداقل چند سانتی‌متر و کدام جهت در راستای قائم جابه‌جا شود؟ (ضریب شکست آب و هوا را به ترتیب $\frac{۴}{۳}$ و ۱ فرض کنید و $\sin ۵۳^\circ = ۰/۸$)

۱) ۴۵، بالا
۲) ۴۵، پایین
۳) ۷۲، بالا
۴) ۷۲، پایین

مطابق شکل، چشم ناظر در موقعیتی قرار دارد که فقط می‌تواند نقطهٔ C از دیوارهٔ BC را ببیند. اگر ظرف را پر از مایعی با ضریب شکست n کنیم، در این‌صورت ناظر قادر به دیدن نقطهٔ O در وسط BC می‌شود. کمترین مقدار n کدام است؟



۱) $\frac{۲\sqrt{۱۰}}{۵}$

۲) $\frac{\sqrt{۱۰}}{۴}$

۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۵}$

۴) $\frac{\sqrt{۱۰}}{۲}$

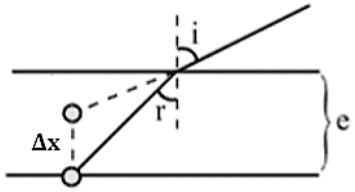
تیغه متوازی السطوح

- به یک تیغه شیشه ای که دو سطح آن با هم موازی هستند، تیغه متوازی السطوح گفته می شود.
- هنگامی که تابش از یک تیغه متوازی السطوح عبور می کند دوبار شکست پیدا می کند. یک بار در اثر ورود به تیغه و یک بار در اثر خروج از تیغه شکست پیدا می کند.
- همین عامل باعث می شود هرگاه از پشت یک تغیه متوازی السطوح به یک جسم نگاه کنیم، تصویر آن جسم نسبت به مقدار واقعی جابجایی نشان می دهد.
- اگر دو طرف تیغه متوازی السطوح محیط یکسانی وجود داشته باشد. (مانند هوا)، آنگاه پرتو خروجی با پرتو ورودی موازی خواهد بود و فقط جابجایی در تصویر جسم ایجاد می شود.

$$\theta_1 = \theta'_2$$

میزان جابجایی تصویر در تیغه برحسب ضخامت تیغه

- میزان جابجایی را با Δx نشان می دهیم. این جابجایی از رابطه زیر به دست می آید.

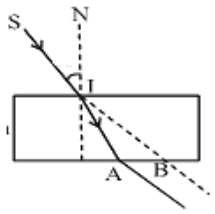


$$\Delta x = e(1 - \frac{1}{n})$$

- در این رابطه، e ضخامت تیغه و n ضریب شکست تیغه می باشد.
- میزان جابجایی تصویر نسبت به مکان جسم به فاصله چشم از تیعه بستگی ندارد و فقط به قطر تیغه بستگی دارد.
- این رابطه زمانی کاربرد دارد که محیط دو طرف تیغه متوازی السطوح با هم یکسان باشد.

میزان جابجایی تصویر در تیغه برحسب زاویه ورود خروج

- همچنین به شکل زیر توجه کنید، برای به دست آوردن میزان جابجایی افقی پرتو از رابطه زیر استفاده می کنیم:



$$AB = e(\tan i - \tan r)$$

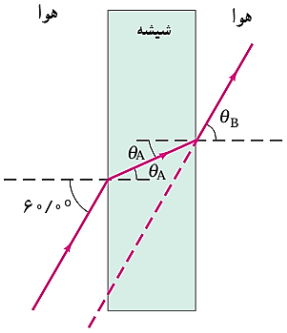
- در این رابطه، e ضخامت تیغه، i زاویه پرتو تابش و r زاویه پرتو شکست می باشد.

اگر تابش یک جسم از یک تیغه با ضخامت 2 سانتی متر و ضریب شکست 1.5 عبور کند، تصویر جسم نسبت به مکان واقعی جسم چقدر جابجایی نشان می دهد؟

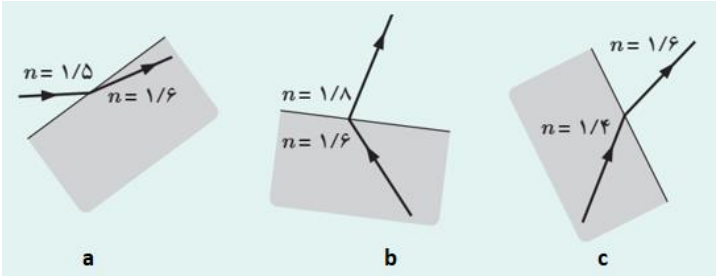
۱) 0.67 ۲) 1.23 ۳) 2.40 ۴) 0.33

پرتو نوری مانند شکل زیر، از هوا بر تیغه متوازی السطوحی، با زاویه تابش 60 درجه فرود می آید. زاویه شکست پرتو در شیشه (θ_A) و زاویه خروجی پرتو از شیشه (θ_B) به ترتیب چقدر است؟ (ضریب شکست هوا معادل 1 و ضریب شکست شیشه معادل 1.52 می باشد.)

۱) ۳۴/۷ و ۳۰ ۲) ۶۰ و ۳۰ ۳) ۳۰ و ۶۰ ۴) ۳۴/۷ و ۶۰

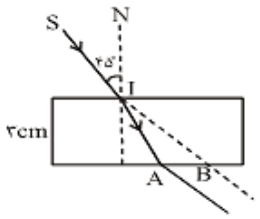


کدام یک از سه طرح های زیر می تواند یک سیستم واقعی را نشان دهد.



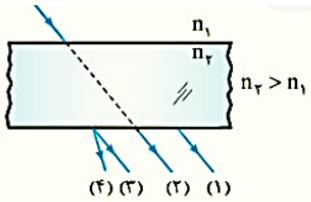
۱) فقط c ۲) b و a ۳) c و a ۴) فقط b

در شکل زیر، پرتو SI با زاویه تابش 45 درجه به سطح یک تیغه شیشه ای به ضخامت 3 سانتی متر می تابد و در نقطه A از تیغه خارج می شود. اگر راستای SI در نقطه B از شیشه خارج شود، AB چند سانتی متر است. (ضریب شکست تیغه شیشه ای برابر با $\sqrt{2}$ می باشد.)



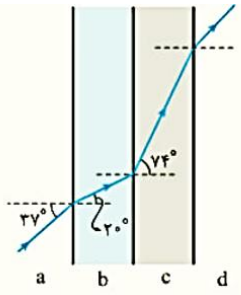
۱) $\sqrt{3}$ ۲) $3-\sqrt{3}$ ۳) $1+\sqrt{3}$ ۴) $2\sqrt{3}$

در شکل روبه‌رو، پرتوی خروجی از تیغهٔ شفاف کدام است؟ *(سراسری تجربی ۸۰)*



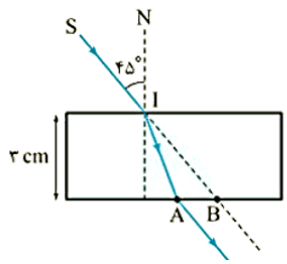
۱) (۱)
۲) (۲)
۳) (۳)
۴) (۴)

شکل روبه‌رو، یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیهٔ a، از طریق محیط‌های b و c به محیط a بازمی‌گردد. تندی نور در محیط a چند برابر تندی نور در محیط c است؟ *(تمرین کتاب درسی، با تغییر)*



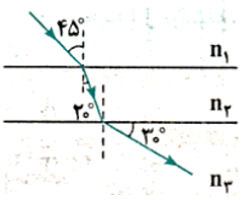
۱) $\frac{۵}{۸}$ ۲) $\frac{۵}{۶}$ ۳) $\frac{۶}{۵}$ ۴) $\frac{۸}{۵}$

در شکل روبه‌رو، پرتوی SI با زاویهٔ تابش ۴۵° به سطح یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت ۳ cm می‌تابد و در نقطهٔ A از تیغه خارج می‌شود. اگر راستای SI در نقطهٔ B از شیشه خارج شود، AB چند سانتی‌متر است؟ ($\sqrt{۲}$ = ضریب شکست تیغهٔ شیشه‌ای) *(سراسری ریاضی ۹۱)*



۱) $\sqrt{۳}$
۲) $۳-\sqrt{۳}$
۳) $۱+\sqrt{۳}$
۴) $۲\sqrt{۳}$

مطابق شکل، یک موج رادیویی از محیط شفاف (۱) وارد محیط شفاف (۲) و سپس وارد محیط شفاف (۳) می‌شود. تندی انتشار موج در محیط (۳) چند برابر تندی انتشار موج در محیط (۱) است؟ (تجربی داخل ۹۲)



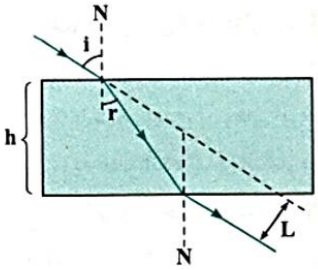
۱) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$

۲) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$

۳) $\sqrt{\frac{۳}{۲}}$

۴) $\sqrt{\frac{۲}{۳}}$

با توجه به شکل زیر، پرتوی نوری تحت زاویهٔ تابش i، به تیغهٔ متوازی‌السطوح می‌تابد و زاویهٔ شکست این پرتو برابر r است. فاصلهٔ بین امتداد پرتوی ورودی و خروجی از تیغه (L)، کدام است؟



۱) $L = h\frac{\sin(i-r)}{\cos r}$

۲) $L = h\frac{\sin(i-r)}{\sin r}$

۳) $L = h\sin i$

۴) $L = h\sin r$

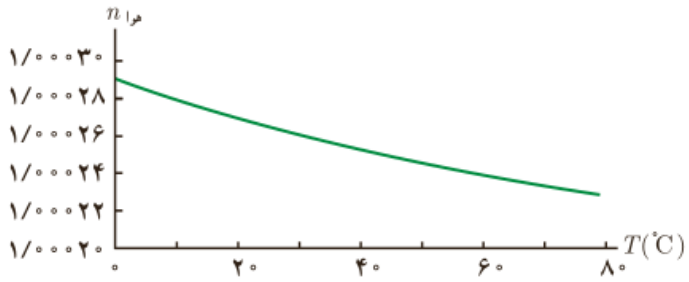
سراب

- در روزهای گرم ممکن است در دوردست برکه آبی ببینید که بر سطح زمین قرار دارد، اما وقتی به آن محل می رسید، آنجا را خشک می یابید، به این پدیده **سراب** یا **سراب آبگیر** گفته می شود.
- سراب به گونه ای است که هم قابل دیدن است و هم قابل تصویربرداری و عکس گرفتن.

- دلیل اصلی سراب، وابستگی ضریب شکست هوا به دما می باشد.

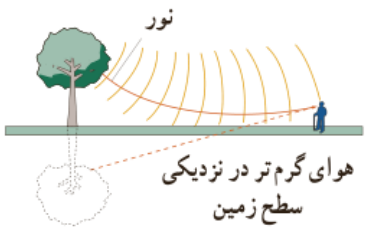
وابستگی ضریب شکست هوا به دما

- مطابق شکل زیر، با افزایش دما، ضریب شکست هوا کاهش می یابد.
- دلیل اصلی آن این است که تراکم یا چگالی هوا با افزایش دما کاهش می یابد.



تغییر دمای لایه های هوا

- در تابستان، سطح زمین گرم است، بنابراین هرچه به سطح زمین نزدیک تر می شویم، دما بیشتر می شود.
- به عبارتی، لایه های مختلف هوا دارای دمای مختلف می باشند.
- لایه های نزدیک تر به زمین دارای دمای بیشتری بوده در نتیجه ضریب شکست آنها کمتر است.
- پس: هر چه به سطح زمین نزدیک تر می شویم، ضریب شکست لایه ها کمتر می شود.
- همین کاهش ضریب شکست لایه ها، باعث می شود جبهه های موج خمیدگی پیدا کرده و انتهای پایین جبهه های موج در هوای گرم تر سریع تر حرکت کنند.
- در نهایت، یک خمیدگی اغراق آمیز خواهیم داشت که باعث می شود پرتوی نور از امتداد یک مرز فرضی از هوای گرم تر به سمت هوای گرم بالاتر برود.



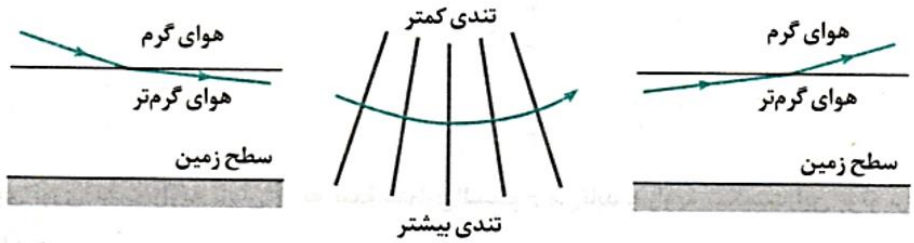
- نتیجه نهایی این رفتار، خود را به صورت سراب نشان می دهد.
- زمانی که پرتوهایی به چشم انسان می رسد، مغز فکر می کند که منشأ نور از امتداد رو به عقب پرتوهایی است که به چشم ما رسیده اند.
- بنابراین یک تصویر، یا همان سراب، را در سطح زمین برای خود تصور می کند.

سراب هوایی

- اگر لایه های هوای مجاور زمین سردتر از لایه های بالایی باشند، پدیده ای به نام سراب هوایی می تواند تشکیل شود.
- در سراب هوایی، تصویر جسمی را می بینیم که خود جسم زیر افق قرار داشته و از دید پنهان است.
- برای مثال، دیدن کشتی پرنده، به این صورت است که مجاور سطح دریا، لایه ای از هوای سرد قرار دارد.

- هوای روی این لایه گرم تر است.
- نور بازتابیده از کشتی، هنگام گذشتن از لایه ای به لایه دیگر می شکند.
- چشم نور ار به گونه ای می بیند که گویی به خط مستقیم سیر کرده است، بنابراین کشتی را در هوا می بیند.

با توجه به شکل‌های داده‌شده، چه تعداد از گزاره‌های زیر در مورد پدیدهٔ سراب صحیح است؟



الف) در روزهای گرم، هوای نزدیک به سطح زمین گرم‌تر از لایه‌های هوای بالایی است.

ب) چگالی لایه‌های هوای گرم‌تر کمتر بوده و در نتیجه ضریب شکست آن‌ها بیشتر است.

پ) با پایین آمدن پرتوهای نورخورشید، در هر مرحله پرتوها از خط عمود دور شده و بیشتر به‌سمت افق خم می‌گردند.

ت) به علت آنکه تندی انتشار بخش‌های پایینی جبهه‌های موج بیشتر از بخش‌های بالایی است، پرتوها به‌سمت بالا خم برمی‌دارند.

ث) پرتوها در حرکت به‌سمت بالا، در هر مرحله به خط عمود نزدیک می‌شوند.

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۵

کدام عبارت دربارهٔ پدیدهٔ سراب نادرست است؟

۱) این پدیده معمولاً در روزهای گرم مشاهده می‌شود.

۲) با افزایش دما، چگالی و در نتیجه ضریب شکست هوا کاهش می‌یابد.

۳) تندی جبهه‌های موج در نزدیکی سطح زمین بیش از تندی جبهه‌های موج در بالای سطح زمین است.

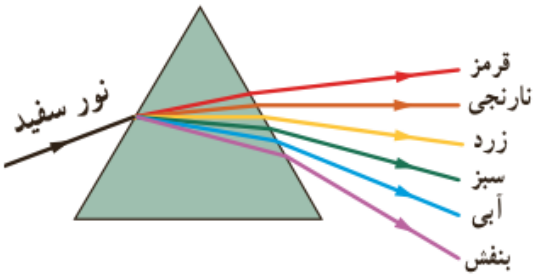
۴) سراب را تنها می‌توان دید، ولی نمی‌توان از آن عکس گرفت.

پرتویی با زاویهٔ تابش معینی، از هوا وارد آب می‌شود. با فرض ثابت‌ماندن دمای آب، اگر دمای هوا بالا رود، زاویهٔ شکست چگونه تغییر می‌کند؟

۱) کاهش می‌یابد. ۲) افزایش می‌یابد. ۳) تغییر نمی‌کند. ۴) هر یک از سه گزینهٔ قبلی ممکن است.

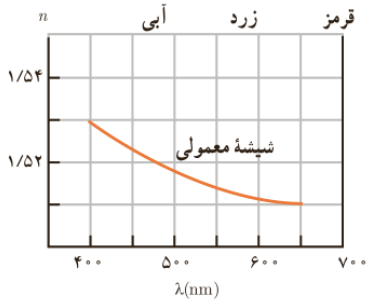
پاشندگی نور

- به تجزیه شدن نور هنگام عبور از منشور، پاشندگی نور گفته می شود.
- دلیل این پدیده این است که ضریب شکست هر محیطی به جز خلأ به طول موج نور بستگی دارد.



وابستگی ضریب شکست به طول موج

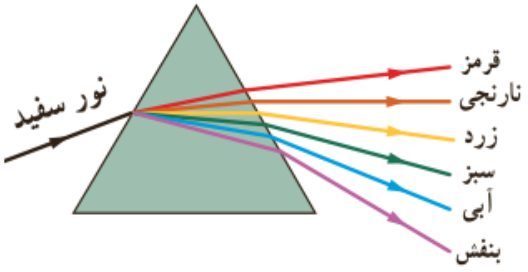
- ضریب شکست یک محیط مادی شفاف برای طول موج های مختلف با هم فرق دارد.
- ضریب شکست یک محیط معین مانند شیشه برای طول موج های کوتاه تر، بیشتر است.



- به عبارتی، ضریب شکست با طول موج پرتو رابطه معکوس دارد.
- پس ضریب شکست شیشه معمولی برای نور قرمز کمتر از نور بنفش یا آبی است.

پاشندگی نور در منشور

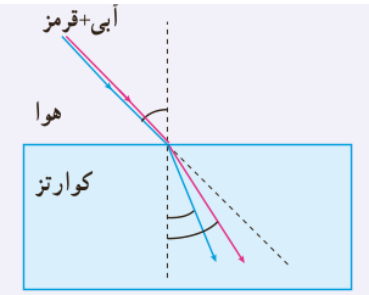
- اگر یک نور مرکب (نوری که شامل چند طول موج است) به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگر شود، به نورهای سازنده خود تجزیه می شود. (پدیده پاشندگی)
- بنابراین عبور نور از منشور باعث تجزیه آن می شود.
- تجزیه شدن نور در منشور دو بار انجام می شود، یکبار موقع ورود نور و یکبار موقع خروج نور از منشور.



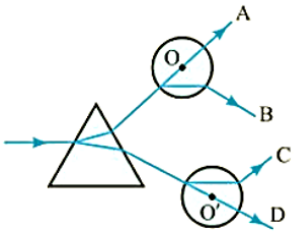
- در منشور، ضریب شکست برای نور بنفش یا آبی بیشتر از قرمز است، پس میزان انحراف بنفش یا آبی بیشتر از قرمز است.
- همچنین، در شرایط عادی، منشور در محیطی رقیق تر از خود (مانند هوا) قرار دارد.
- در این شرایط، همواره نور آبی یا بنفش به سمت قاعده منشور شکسته می شود. یعنی شکسته شدن نور به سمت قاعده است.
- اما اگر منشور در محیطی غلیظ تر از خودش قرار بگیرد، انحراف به سمت رأس منشور انجام می شود.

پاشندگی در تیغه متوازی السطوح

- پاشندگی فقط مخصوص منشور نیست.
- هرگاه نور شامل چند طول موج، به صورت مایل از یک تیغه متوازی السطوح عبور کند، نور به طول موج های سازنده خود تجزیه می شود.
- به شکل زیر توجه کنید:



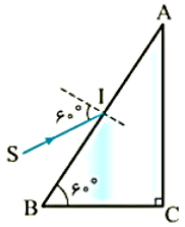
- دقت کنید: هرگاه تابش به صورت عمود به یک مرز مشترک دو محیط برخورد کند، پاشندگی یا تجزیه نور رخ نمی دهد.



شکل روبه‌رو یک منشور و دو کرهٔ شیشه‌ای توپر به مراکز O و O′ را نشان می‌دهد که در خلأ فرض شده‌اند. یک پرتوی نور تک‌رنگ بر منشور تابیده است. کدام‌یک از این مسیرها عبور نور را درست نشان می‌دهد؟

(سراسری ریاضی خارج ۹۲)

۱) A
۲) B
۳) C
۴) D

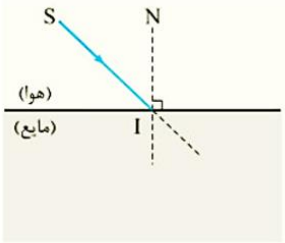


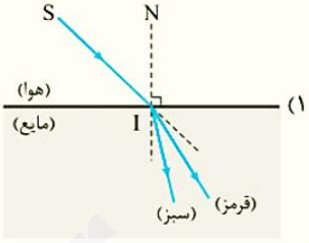
در شکل مقابل، پرتوی SI با زاویهٔ تابش 60° به وجه AB می‌تابد و موازی با BC از وجه AC خارج می‌شود. ضریب شکست منشور چه‌قدر است؟

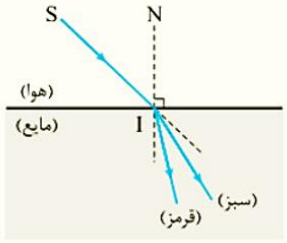
(سراسری ریاضی خارج ۹۷)

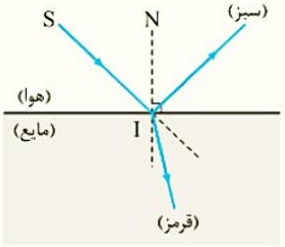
۱) $\sqrt{2}$
۲) $\frac{3}{2}$
۳) $\sqrt{3}$
۴) ۲

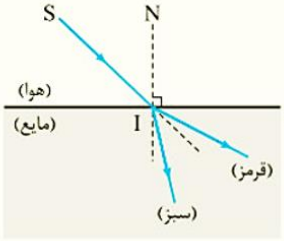
در شکل روبه‌رو، پرتو فرودی SI شامل نورهای تک‌فام قرمز و سبز است که از هوا وارد یک مایع شفاف می‌شود. کدام‌یک از شکل‌های زیر، مسیر شکست نور را درست نشان می‌دهد؟ *(سراسری ریاضی ۹۸)*



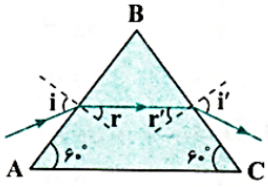
۱)


۲)


۳)


۴)


مطابق شکل، پرتوی نور تک‌رنگی از هوا وارد منشور شیشه‌ای شده و پس از شکست از منشور عبور می‌کند. اگر زاویهٔ تابش (i) افزایش یابد: *(ریاضی خارج ۹۴)*



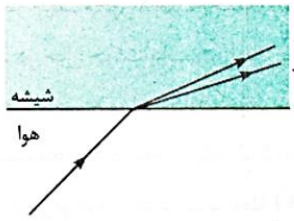
۱) زاویهٔ i' کاهش می‌یابد.

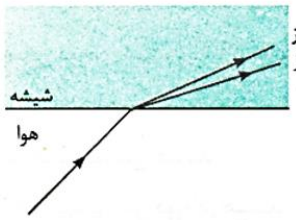
۲) زاویهٔ r' افزایش می‌یابد.

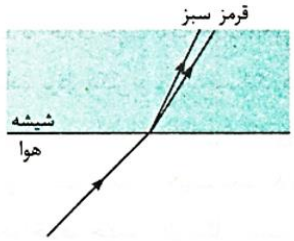
۳) زاویهٔ r کاهش می‌یابد.

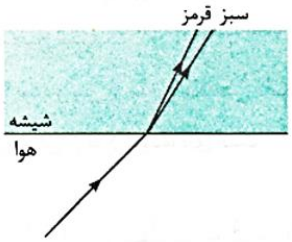
۴) الزاماً زاویهٔ انحراف کاهش می‌یابد.

پرتوی نوری مرکب از رنگ‌های سبز و قرمز از هوا وارد شیشه می‌شود و می‌شکند. کدام‌یک از شکل‌های زیر، مسیر پرتو را به‌درستی نشان می‌دهد؟ *(ریاضی داخل ۹۸)*

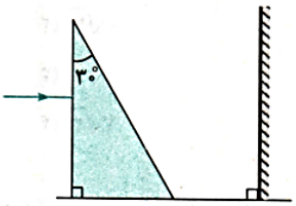
۱)


۲)


۳)


۴)


مطابق شکل، پرتوی نوری به یک منشور به ضریب شکست $n = \sqrt{2}$ برخورد می‌کند. پرتوی نور پس از خروج از منشور، با زاویهٔ تابش چند درجه به آینه می‌رسد؟



۱) ۷۵

۲) ۴۵

۳) ۳۰

۴) ۱۵

دکتر عبدالرضا خواجه زاده مدرس و مشاور کنکور ۰۹۱۷۷۰۵۰۰۵۷