# فصل ۳

# نوسان و موج

دنیای ما پر از نوسان است. ضربان قلب انسان، تاب خوردن، بالا و پایین رفتن سرنشینان کشتی روی امواج خروشان دریا و زمین لرزه نمونه هایی از این دست هستند.

## کلیات حرکت نوسانی :

حرکت رفت و برگشتی پی در پی یک جسم :

۱.**دوره ای** : نوسانی است که هر دور آن در دوره های دیگر عینا تکرار شود. در واقع حرکتی ، نوسانی دوره ای است که هر نوسان عینا در مدت زمان معینی اتفاق بیافتد. مثل ریتم قلب.

۲.**غیر دوره ای** : زمان نوسان ها متغیر است.

✓ در نوسان دوره‌ای پارامترهای زیر تعریف می شوند :

**دوره تناوب (پریود(T))** : مدت زمانی که نوسانگر یک نوسان کامل انجام می دهد.

**تذکر** : اگر نوسانگر در مدت زمان $t$ ، $n$ نوسان انجام دهد :

| | |
|---|---|
| $T$ | ۱ دور |
| $\Delta t$ | $n$ دور |

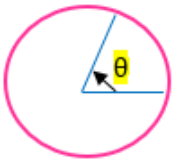
$$\text{مدت زمان نوسان } t \Rightarrow \text{تعداد نوسانات } \Rightarrow n \Rightarrow T = \frac{\Delta t}{n} \Leftarrow \text{دوره تناوب } T$$

بسامد (فرکانس) : تعداد نوسانات یک نوسانگر در مدت زمان یک ثانیه :

| زمان | دور |
|---|---|
| $۱s$ | $f$ |
| $T$ | ۱ |

$$\Rightarrow f = \frac{۱}{T} \quad ، f : Hz \ or \ {}^{۱}/_{s}$$

بسامد زاویه ای ، سرعت زاویه $(\omega)$ :




| $2\pi$ | $T$ |
|---|---|
| $\theta$ | $t$ |

$$\Rightarrow \theta = \frac{۲\pi t}{T} \ ، \ \omega = \frac{\theta}{t} \Rightarrow \omega = \frac{\frac{۲\pi t}{T}}{t} = \frac{۲\pi}{T}$$

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} = ۲\pi f \Rightarrow \left(\frac{rad}{s}\right) = \text{واحد}$$

**مثال ۱) نوسان گری در طی ۲۰ ثانیه ۴۰ نوسان انجام می‌دهد، فرکانس زاویه ای آن چند است؟**

**مثال۲ ) بسامد زاویه ای چرخی $۶۰۰\frac{rad}{min}$ است این چرخ در مدت ۱۲ ثانیه چند دور می زند؟**

مثال ۳) بسامد زاویه ای نوسانگر B ، ۵۰ درصد کمتر از بسامد زاویه ای نوسانگر A است. اگر در مدت زمان یک دقیقه تعداد چرخه های طی شده (یا تعداد دوره‌های طی شده یا تعداد سیکل های طی شده ) توسط A ، ۲۰ دور بیشتر از B باشد: دوره تناوب نوسانگر B چند است؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

## حرکت هماهنگ ساده (SHM):

۱. نوسانی

۲. دوره ای

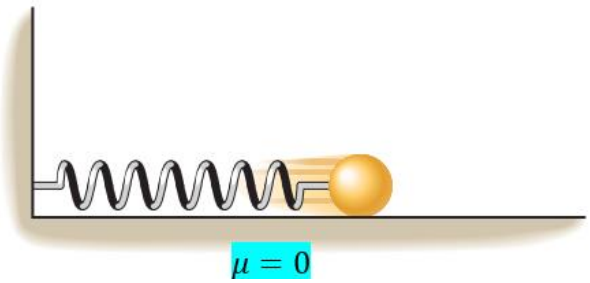
۳. روی خط راست

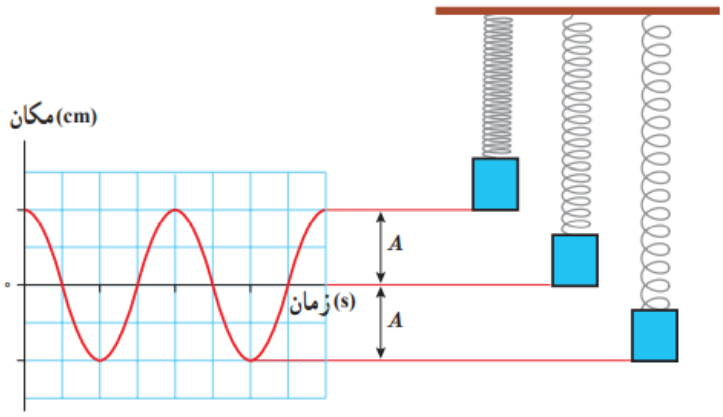
٤. سطح بدون اصطکاک

✓ حرکت جرم و فنر روی خط راست بدون اصطکاک نمونه ای از حرکت هماهنگ ساده است .

حرکت هماهنگ ساده (SHM): نوعی از حرکت نوسان دوره‌ای است که نوسان های آن به صورت سینوسی تکرار می شود.

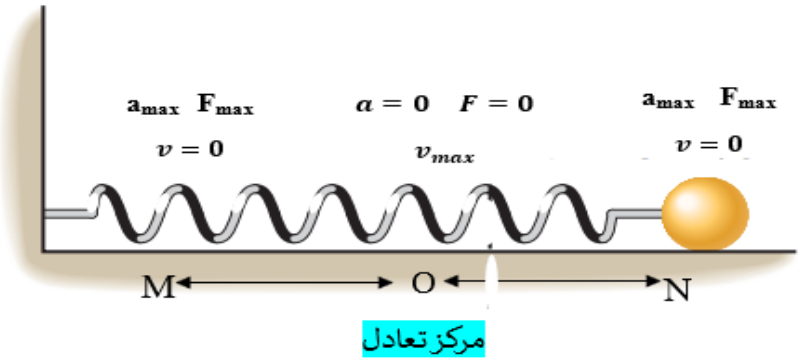
جسمی مطابق شکل به فنر متصل بوده و آن را کمی می کشیم با رها کردن جسم حرکت نوسانی دوره ای انجام می شود. این حرکت از نوع حرکت هماهنگ ساده است. با توجه به اینکه حرکت نوسانی ساده روی خط راست است چرا نمودار مکان -زمان آن به صورت سینوسی و یا کسینوسی است؟




دلیل اینکه نمودار به صورت $sin$ یا $cos$ است ، به این دلیل است که وقتی فنر به انتهای مسیر نزدیک می شود سرعتش به صفر می رسد پس باید شیب نمودار به صفر برسد .

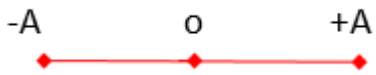
✓ می‌خواهیم بدانیم سرعت شتاب و نیروی وارد بر نوسانگر در دو انتهای مسیر و مرکز مسیر چگونه است؟(اصطلاحاً به دو انتهای مسیر نقطه بازگشت هم می گویند)




مرکز تعادل

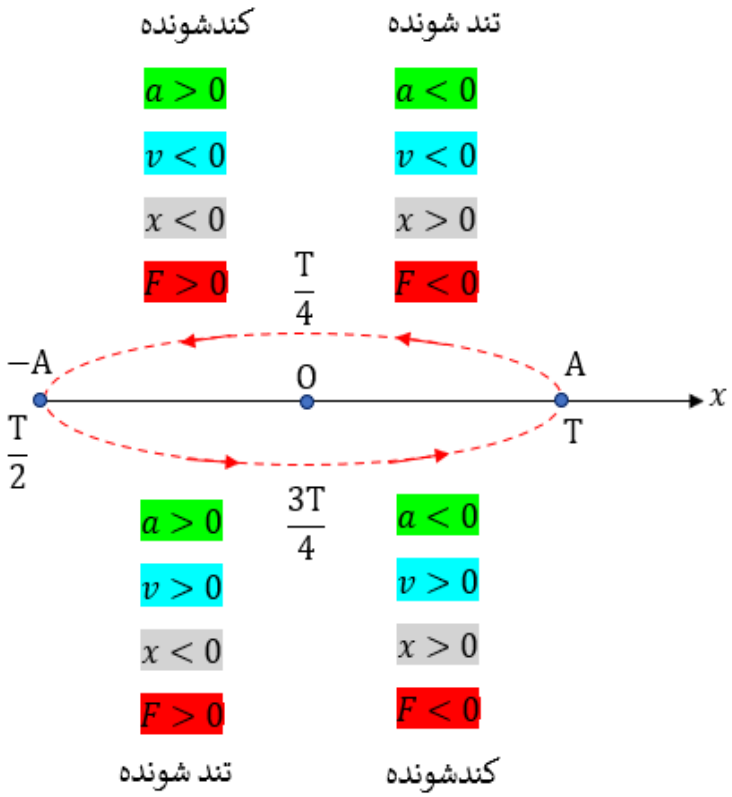
✓ هر گاه نوسانگر به مرکز تعادل خود نزدیک شود ، اندازه سرعت آن افزایش یافته و حرکتش تند شونده است و اگر به انتهای مسیر نزدیک شود سرعتش کم می شود و حرکتش کند شونده خواهد بود.

**تذکر** : فاصله مرکز نوسان از هر یک از دو انتهای مسیر را دامنه می گویند و آن را با A نشان می دهند. (طول پاره خط نوسان برابر ۲A) و (مسافت طی شده در هر دوره برابر ۴A)



## بررسی علامت های مکان - سرعت - نیرو - شتاب نوسانگر :

**مطابق شکل زیر علامت های $x$ ، $v$ ، $F$ ، $a$ مشخص است .**




**یک اصل مهم** : همیشه شتاب و مکان نوسانگر مختلف العلامت اند.

یادمان باشد که نوسانگراز بیشینه مکان مثبت و در خلاف جهت محور حرکتش را آغاز می کند .

$$F = -Kx \Rightarrow \begin{cases} F \propto -x \\ a \propto -x \end{cases}$$

**مثال ۴) درستی یا نادرستی هر یک از عبارت های زیر را مشخص کنید:**

**۱) در مکان های منفی سرعت مثبت است.**

**۲) وقتی متحرک به مرکز نوسان نزدیک شود سرعت مثبت است.**

**۳) در دو انتهای مسیر سرعت بیشینه و مثبت است.**

**۴) در مکان های مثبت همیشه شتاب منفی است.**

**۵) در دو انتهای مسیر اندازه شتاب بیشینه است.**

معادله مکان - زمان نوسانگر: (از بیشینه مکان شروع به حرکت کرده است)

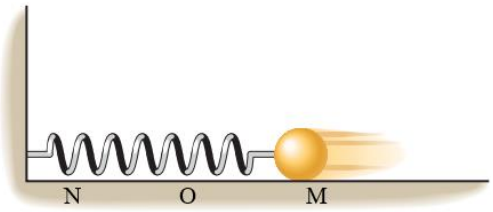
$$x = A\cos\theta = A\cos\omega t$$

**مثال ۵) معادله مکان زمان نوسانگری را به دست آورید که بسامد آن ۴ هرتز بوده و در یک دوره تناوب مسافت ۶۰ سانتی متر را طی می کند؟**

تست۶) مطابق شکل جسمی به فنری متصل بوده و آن را میکشیم و در لحظه $t = 0$ جسم را رها کرده تا بر روی پاره خط MN به طول ۲۰ سانتی متر با دوره تناوب $0/5s$ حرکت هماهنگ ساده انجام دهد، در لحظه $t = \frac{1}{6}s$ این نوسانگر در چه فاصله ای از مرکز نوسان قرار دارد؟

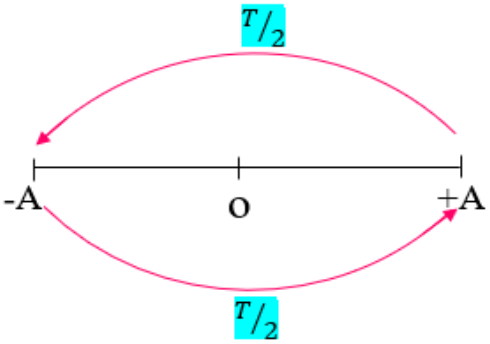
۱) ۵cm ۲) ۲۰cm

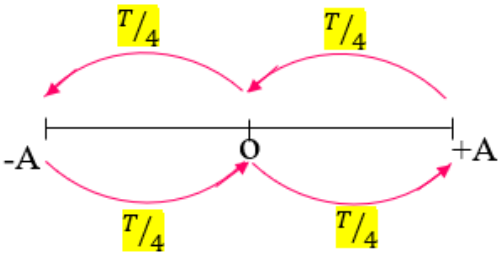
۳) ۱۰cm ۴) ۱۵cm

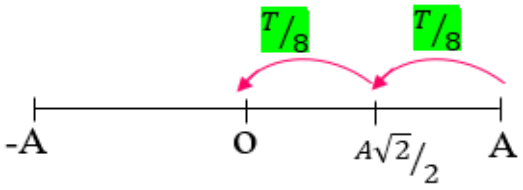


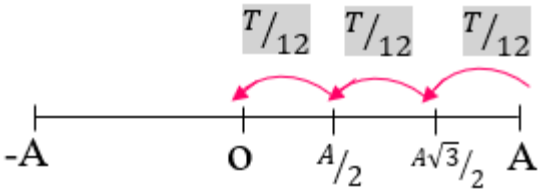

مثال۷) طول پاره خط مسیر نوسانگری برابر ۸ سانتی‌متر بوده و در لحظه $t = \frac{1}{180}s$ در فاصله $+2$ سانتی متر از مبدا قرار دارد، معادله حرکت این نوسانگر چیست ؟

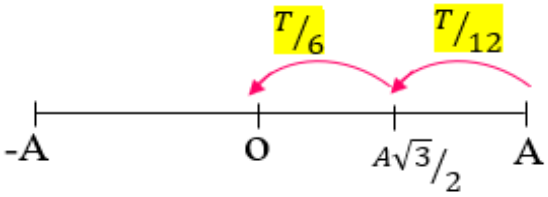
✓ زمان های معروف روی پاره خط :

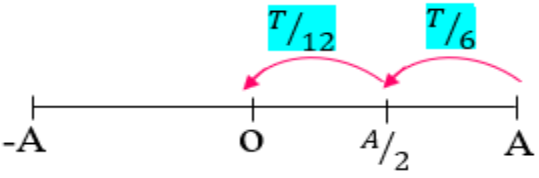


تست۸) دوره تناوب نوسانگری برابر ۱۲ ثانیه است و این نوسانگر در لحظه t در مکان $-\frac{A}{2}$ قرار داشته و سرعت آن مثبت است. بعد از t حداقل چند ثانیه زمان نیاز است تا نوسانگر به مکان $\frac{A}{2}$ برسد؟

۱) 3 ۲) 4

۳) 2 ۴) 1

تست۹) معادله مکان - زمان نوسانگری به صورت $x = A\cos\left(\frac{\pi t}{12}\right)$ است. حداقل فاصله زمانی برای اینکه نوسانگر از بیشینه سرعت با علامت منفی به مکان $x = +\frac{\sqrt{3}}{2}A$ برسد چند ثانیه است؟

۱) 16 ۲) 8

۳) 4 ۴) 2

تست۱۰) دوره تناوب نوسانگری برابر T است و در لحظه t در مکان $+\frac{A}{2}$ قرار دارد و سرعت آن منفی است. حداقل زمان مورد نیاز برای اینکه بعد از لحظه t به مکان $-\frac{\sqrt{3}}{2}A$ برسد را بر حسب دوره کدام گزینه است؟

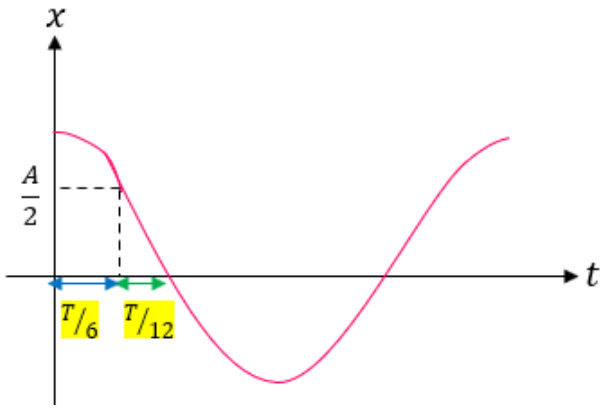
۱) $T$ ۲) $\frac{T}{2}$

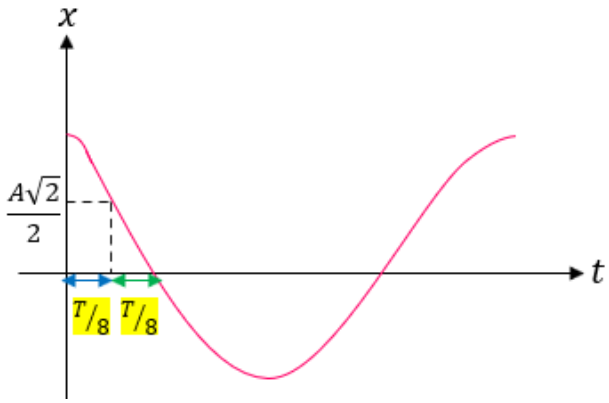
۳) $\frac{T}{4}$ ۴) $\frac{T}{8}$

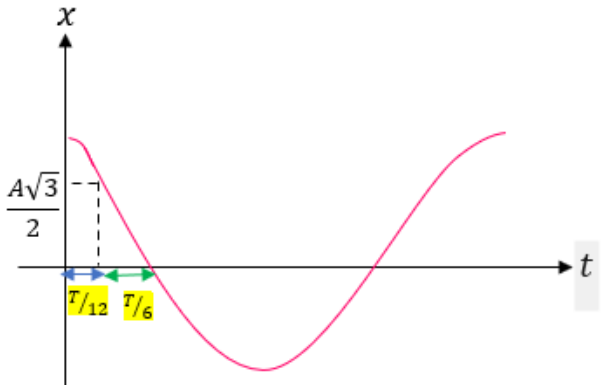
نمودار مکان – زمان یک نوسانگر :

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

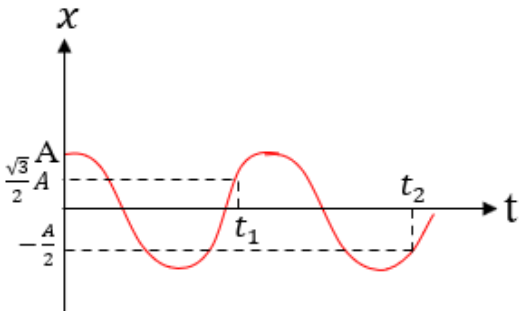
## زمان های مهم :



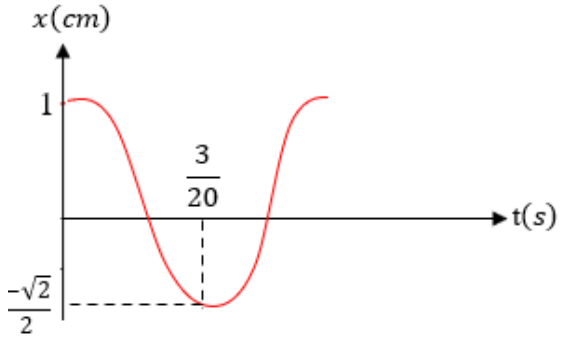
مثال ۱۱) نمودار $x-t$ یک نوسانگر که بسامد آن $\frac{1}{8}Hz$ است، مطابق شکل است. $t_2-t_1$ چقدر است؟




تست۱۲)نمودار مکان – زمان حرکت هماهنگ ساده ای مطابق شکل مقابل است ، دوره آن چند ثانیه است ؟

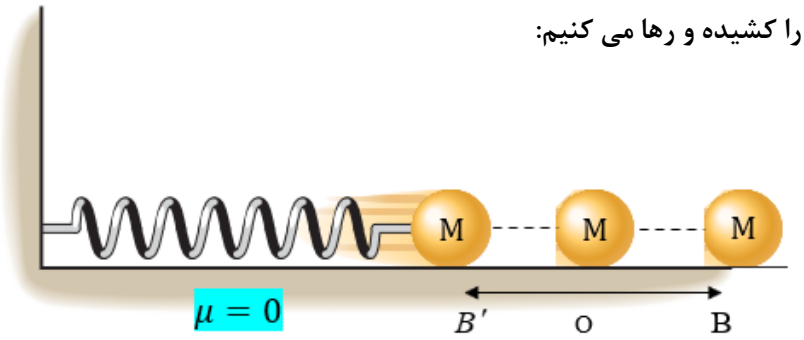
۱) ۰/۱ ۲) ۰/۲

۳) ۰/۳ ۴) ۰/۴



## نوسانگر جرم و فنر:

مطابق شکل جسمی به فنری متصل بوده و آن را کشیده و رها می کنیم:




ثابت می شود که بسامد زاویه جرم- فنر از رابطه زیر بدست می آید:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow \begin{cases} f = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \\ T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \end{cases}$$

تست۱۳)یک وزنه ۲ کیلوگرمی را به انتهای یک فنر قائم آویزان می کنیم و طول فنر ۲۰ سانتی متر افزایش می یابد . اگر همین فنر را به یک وزنه ی ۲۵۰ گرمی ببندیم تا روی سطح افقی ، حرکت هماهنگ ساده انجام دهد ، بسامد این حرکت چند هرتز است ؟

۱) ۲۰ ۲) ۱۰ ۳) $\frac{20}{\pi}$ ۴) $\frac{10}{\pi}$

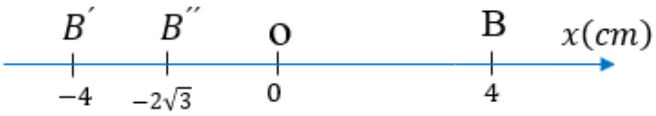
## نیرو و شتاب نوسانگر :

$$\begin{cases} F=-kx \\ \omega=\sqrt{\dfrac{k}{m}} \end{cases} \Rightarrow k=m\omega^2 \Rightarrow \begin{cases} F=-m\omega^2 x \\ F=ma \end{cases} \Rightarrow a=-\omega^2 x$$

| |
|---|
| $x_{max}=A$ |
| $V_{max}=A\omega$ |
| $a_{max}=A\omega^2$ |
| |
| $F_{max}=mA\omega^2$ |

| |
|---|
| $x=A\cos\omega t$ |
| $a=-\omega^2 x$ |
| $F=-m\omega^2 x$ |

تست۱۴) نوسانگری روی پاره خط $BB'$ حرکت نوسانی ساده انجام می دهد. اگر فاصله $B'B''$ را حداقل در مدت $\frac{1}{12}$ ثانیه طی کند، بزرگی شتاب نوسانگر در نقطه $B''$ چند سانتی متر بر مربع ثانیه است ؟ $(\pi^2 \sim 10)$

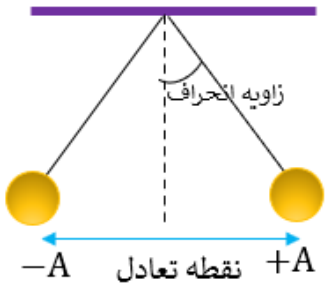



۱) $80\sqrt{3}$ ۲) $40\sqrt{3}$

۳) $40$ ۴) $80$

**آونگ ساده :** مطابق شکل به مجموعه وزنه کوچک و نخ بدون جرم ، آونگ ساده می گوییم .

**نکته :** اگر زاویه ی انحراف از وضعیت قائم (وضعیت تعادل) آونگ کوچک باشد ، مسیر حرکت تقریبا روی یک خط راست می شود ، که در این حالت آونگ نوعی حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد .




$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow \begin{cases} T \Rightarrow (S) \text{ دوره تناوب} \\ L \Rightarrow (m) \text{ طول آونگ} \\ g \Rightarrow \left(m/s^{۲}\right) \text{ شتاب گرانش} \end{cases}$$

**بسامد زاویه ای و بسامد آونگ ساده :**

$$\begin{cases} \omega = \frac{۲\pi}{T} \xrightarrow{T=۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}}} \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \\ f = \frac{۱}{T} \xrightarrow{T=۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}}} f = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{g}{L}} \end{cases}$$

تغییر دامنه نوسان و جرم آونگ ، بسامد زاویه ای و بسامد را نیز تغییر نمی دهد .

- ✓ اگر دوره تناوب ساعت آونگ داری بیشتر شود ، ساعت عقب می افتد و اگر دوره تناوب آن کم شود ، ساعت جلو می افتد .
- ✓ افزایش طول ، افزایش دما و افزایش ارتفاع ساعت نسبت به زمین باعث می شود ساعت عقب بیفتد .

تست۱۵) دوره آونگ ساعتی ۲ ثانیه است. اگر به علتی دوره آن $0/2s$ کم شود، در این صورت در هر شبانه روز، ساعت چند دقیقه جلو یا عقب می‌افتد؟

۱) ۳۶۰دقیقه عقب می‌افتد.
۲) ۱۶۰ دقیقه جلو می افتد.
۳) ۱۲۰ دقیقه عقب می افتد.
۴) ۱۲۰ دقیقه جلو می افتد.

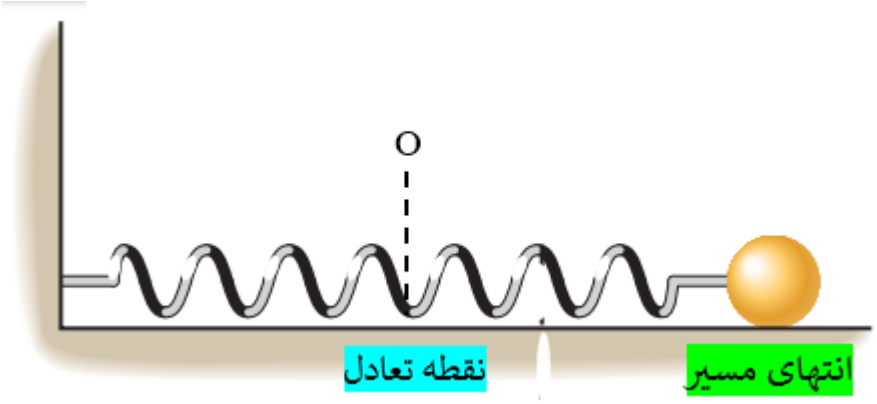
## انرژی نوسانگر :

$$E = k + u$$

$$U = \frac{۱}{۲}kx^{۲} \quad (\text{انرژی پتانسیل})$$

$$k = \frac{۱}{۲}mv^{۲} \quad (\text{انرژی جنبشی})$$

**در دو انتهای مسیر سرعت صفر می شود ، پس انرژی جنبشی صفر است و چون بیشترین جابه جایی وجود دارد انرژی پتانسیل max است .**




$$k = ۰$$

$$u = u_{max} = \frac{۱}{۲}kA^{۲}$$

$$E = K + U = ۰ + u_{max} = u_{max}$$

چون اصطکاک وجود ندارد انرژی نوسانگر ثابت است $\Rightarrow E = \frac{۱}{۲}KA^{۲}$

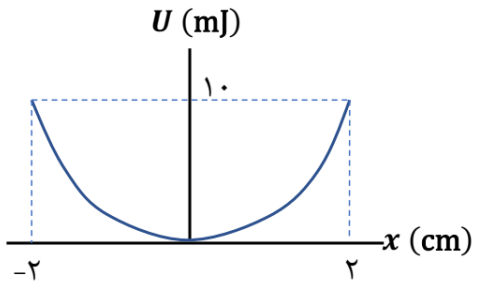
$$E = \frac{۱}{۲}(m\omega^{۲})A^{۲}$$

**در مرکز تعادل انرژی پتانسیل صفر و انرژی جنبشی max است .**

$$E = K + U \Rightarrow E = K_{max} + ۰ \Rightarrow E = K_{max} \Rightarrow E = \frac{۱}{۲}mv_{max}^{۲}$$

**مثال۱۶ )بیشینه انرژی جنبشی نوسانگری به جرم۰/۱ کیلوگرم برابر ۲۰ میلی ژول است. در هنگامی که انرژی پتانسیل نوسانگر برابر ۱۵ میلی ژول است ، تندی این نوسانگر چند $\frac{cm}{s}$ است؟**

مثال۱۷ ) نوسانگری بر روی یک پاره خط حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. در لحظه‌ای که انرژی پتانسیل نوسانگر سه برابر انرژی جنبشی آن است، تندی نوسانگر چند برابر بیشینه تندی نوسانگر است؟




**موج** : هر گاه در ناحیه ای از یک محیط کشسان ارتعاشی به وجود آید که موجب پدید آمدن ارتعاش های پی در پی دیگری می شود که از محل شروع ارتعاش دور و دورتر می‌شود، در نتیجه موج پدید می‌آید . (محیط کشسان محیطی است که اگر در آن تغییر شکلی ایجاد شود پس از مدتی محیط به حالت اولیه برمی گردد)

✓ محیط کشسان :

۱.یک بعدی : طناب

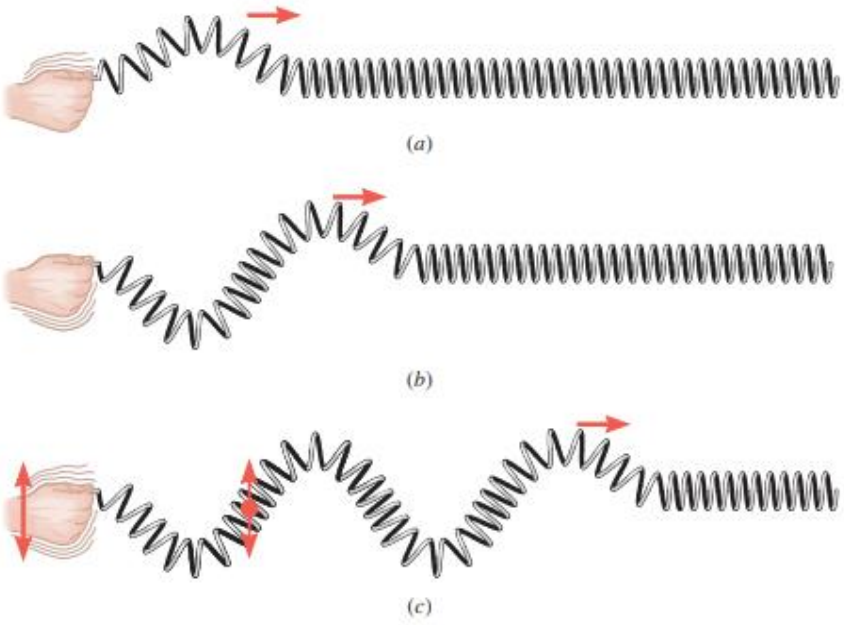
۲.دوبعدی : سطح آب

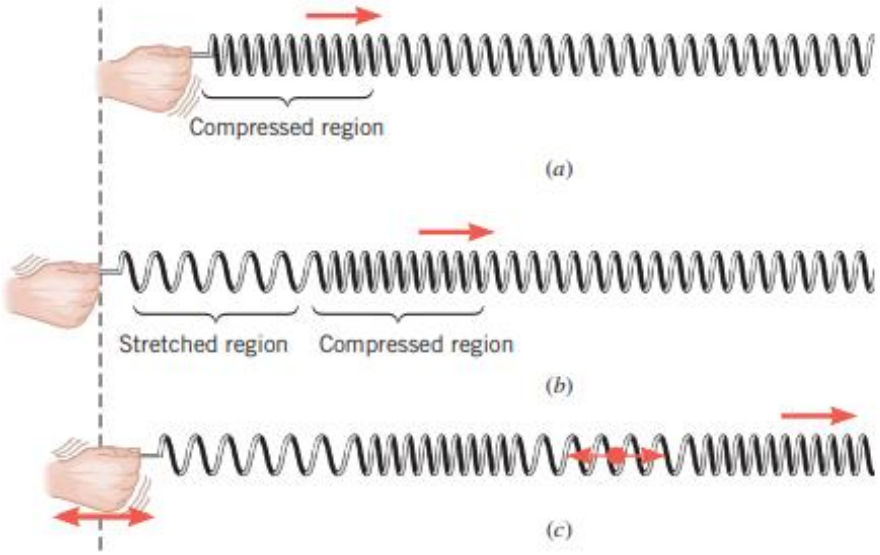
۳.سه بعدی : هوا

## ✓ تقسیم بندی امواج:

| | |
|---|---|
| از لحاظ محیط انتشار: | **الف) مکانیکی:** این امواج برای انتشار حتما به محیط مادی نیاز دارند و در خلا منتشر نمی‌شوند.<br>مثال : صدا، موج ایجاد شده در طناب. |
| | **ب) الکترومغناطیسی:** امواجی که در خلا نیز منتشر می‌شوند.<br>مثال : نور، رادیویی، اشعه ایکس، گاما. |
| از لحاظ نحوه انتشار: | **الف) امواج عرضی:** امواجی‌اند که جهت انتشار موج بر جهت ارتعاش ذرات عمود است.<br>مثال : موج ایجاد شده در طناب. |
| | **ب) امواج طولی:** امواجی اند که راستای ارتعاش با انتشار یکسان است. (صوت) |

**نکته**: در گازها موج عرضی ایجاد نمی‌شود.





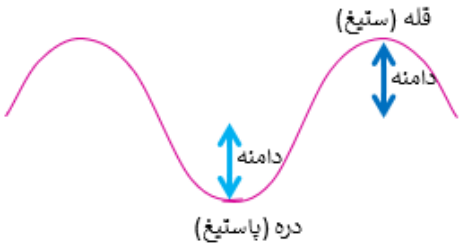

☑ توجه کنید در انتشار موج ، ذرات محیط با موج منتقل نمی شوند و تنها سر جای خود نوسان می کنند.

مثال ۱۹) جای خالی را با عبارت مناسب کامل کنید .

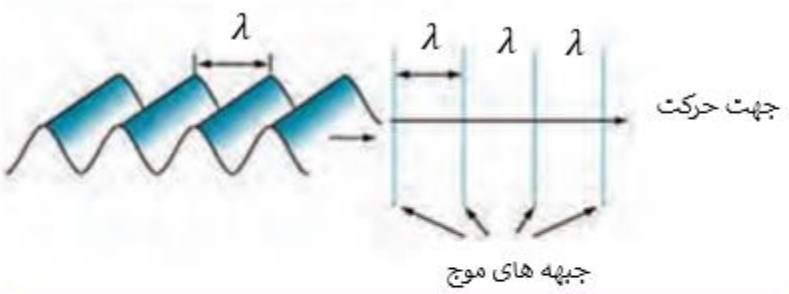
۱- عموما تندی صوت در جامد ها ..... از تندی صوت در مایع ها است . ( تجربی ۱۴۰۳ شهریور)

✓ **شناخت مشخصه‌های اصلی موج** : دامنه، دوره تناوب، فرکانس، سرعت انتشار موج، طول موج .

**دوره تناوب** : مدت زمانی که از یک قله به قله بعدی می رود .

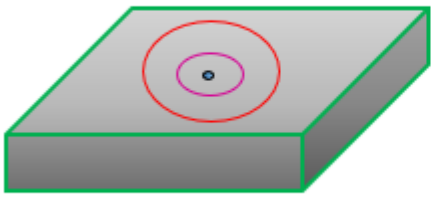


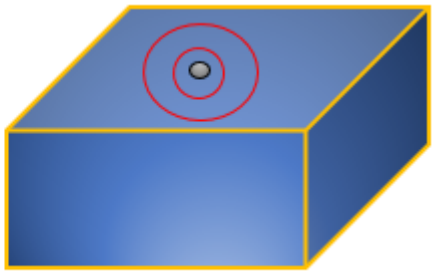

طول موج: مسافتی که موج در یک دوره تناوب طی می کند (فاصله بین دو قله)



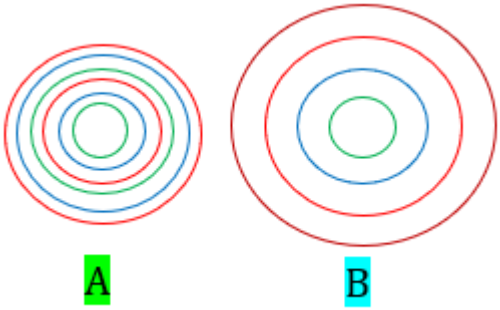

شکل 3 : طرحی از تشکیل جبهه های موج تخت بر سطح آب یک تشت موج . جبهه های موج ، روشی مناسب برای نمایش یک موج پیش رونده هستند.

**نکته :** با افزایش عمق تندی انتشار موج در آب افزایش می یابد. و بنابراین طول موج آن نیز افزایش خواهد یافت .چرا ؟؟؟





تست۹) در شکل های زیر امواج دایره ای منتشر شده B و A در دو تشت موج نشان داده شده که چشمه موج در هر دو مشابه است . درباره عمق این تشت موج کدام گزینه درست است ؟




۱) هم عمق هستند .

۲) عمق B بیشتر از عمق A است .

۳) عمق B کمتر از عمق A است .

۴) اظهار نظر نمی توان کرد .

سرعت انتشار موج ( $V$ ) : ثابت

$$\Delta x = v.\Delta t \Rightarrow \lambda = vT$$

$$\text{طول موج}(m) \leftarrow \lambda = \frac{\text{سرعت موج} \rightarrow v}{\text{فرکانس} \rightarrow F}$$

## نکات

۱) فرکانس نوسان ذرات محیط به منبع تولیدکننده موج بستگی دارد و هیچ تغییری به غیر از تغییر منبع بر روی آن اثری ندارد.

۲) سرعت انتشار موج در یک محیط از ویژگی‌های آن محیط است یعنی اگر فرکانس تولید موج را دو برابر کنیم، سرعت انتشار موج تغییر نمی کند.

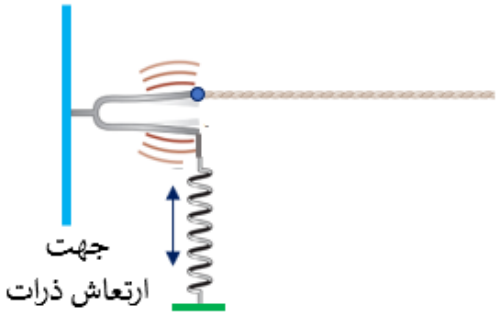
۳) هنگامی که موج در یک محیط منتشر می‌شود، ارتعاش ذرات محیط به صورت هماهنگ ساده و شتاب متغیر است ولی انتشار موج به صورت یکنواخت و با سرعت ثابت انجام می‌شوند.

مثال۲۰) در شکل مقابل دیاپازون به حرکت درآمده و در طناب افقی و فنر قائم موج ایجاد شده است.

الف) موج ایجاد شده در فنر و طناب هر کدام از چه نوعی است؟

ب) اگر ضربه شدید تری به دیاپازون بزنیم تا دامنه نوسان آن دو برابر شود، تندی انتشار موج در هر محیط چگونه تغییر می کند؟

پ) بسامد دو موج را مقایسه کنید.




تست ۲۱) یک موج عرضی در یک محیط با تندی $v$ در حال انتشار است و بیشینه سرعت انتشار ذرات محیط برابر $v'$ است. اگر فاصله یک دره تا قله مجاورش برابر ۵۰ سانتی‌متربوده و طول پاره خطی که ذرات محیط بر روی آن ارتعاش می کنند ، برابر $0/2$ متر باشد، نسبت $\frac{v}{v'}$ چقدر است؟

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

**نکته :** در یک محیط جامد تندی انتشار امواج طولی بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط است (هر دو موج به صورت یکنواخت منتشر می‌شوند) **چرا ؟؟؟**

**مثال ۲۲) دستگاه لرزه نگاری امواج اولیه و امواج ثانویه یک زمین لرزه را با اختلاف زمانی ۲۵ ثانیه دریافت می‌کند، اگر تندی حرکت امواج اولیه و ثانویه به ترتیب $8\frac{km}{s}$ و $4\frac{km}{s}$ باشد :**

**الف) فاصله محل زمین لرزه تا محل قرارگیری لرزه نگار چند کیلومتر است؟**

**۱) ۲۰۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۳۰۰ ۴) ۴۰۰**

## محاسبه تندی انتشار امواج عرضی در ریسمان یا طناب :

**نکته :** **اگر در ریسمانی مطابق شکل که به دیوار متصل بوده و نیروی کشش آن برابر F است، یک تپ ایجاد کنیم، برای محاسبه تندی انتشار تپ یا موج می توان نوشت :**

$$V = \sqrt{\frac{F \rightarrow \text{نیروی کشش ریسمان}}{\mu \rightarrow (\text{جرم واحد طول}) \text{ چگالی خطی طناب یا ریسمان}}}$$

$$\mu = \frac{m \rightarrow \text{جرم طناب}}{L \rightarrow \text{طول طناب}}$$

$$\begin{cases} V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \\ V = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \end{cases}$$

تست۲۳) سیمی به طول ۲ متر و جرم ۸ گرم بین دو نقطه ثابت بسته شده و نیروی کشش برابر ۱۰ است. کدام گزینه تندی انتشار موج را نشان می دهد ؟

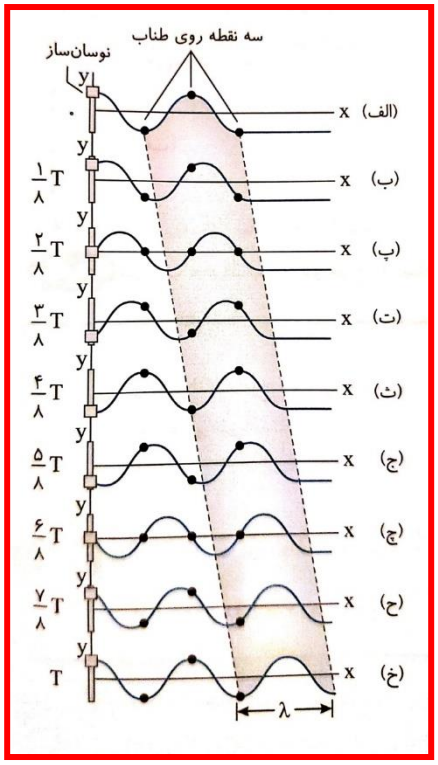
۱) ۵ ۲) ۵۰ ۳) ۵۰۰ ۴) ۵۰۰۰

تست۲۴) مساحت مقطع یک سیم $10^{-6}$ متر مربع و چگالی $6/4\frac{gr}{cm^3}$ است . اگر این سیم با نیروی ۴ نیوتن کشیده شود سرعت انتشار امواج عرضی در آن چند متر بر ثانیه است ؟

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۲۵۰ ۴) ۵۰۰

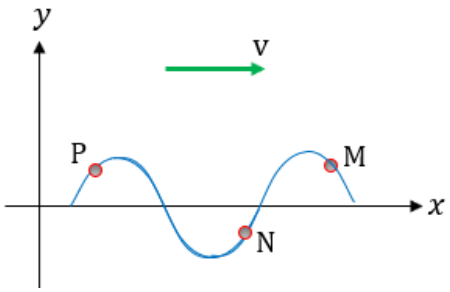
## ☑ تصویر موج :

در این قسمت می خواهیم در حالی که موج حرکت می‌کند، در مورد نحوه جابجایی نقاط مختلف به جابجایی آنها، مسافت طی شده و..... برای هر یک از ذرات اظهار نظر کنیم.




✓ **نکته :** هرگاه موجی در یک محیط منتشر شود، ذرات محیط فقط مرتعش می‌شوند و به همراه موج انتقال پیدا نمی کنند ، برای یک موج می توان نمودار آن را در یک لحظه رسم کرد(در یک لحظه از آن عکس گرفت) به این نمودار تصویر موج یا نقش موج می گویند .

مثال۲۶ ) شکل زیر تصویر موج را در یک لحظه نشان می‌دهد .




الف) جهت حرکت ذره های M و N و P چگونه است ؟

ب) تند و کند شونده بودن حرکت به چه صورت است ؟

پ) علامت شتاب و سرعت چیست ؟

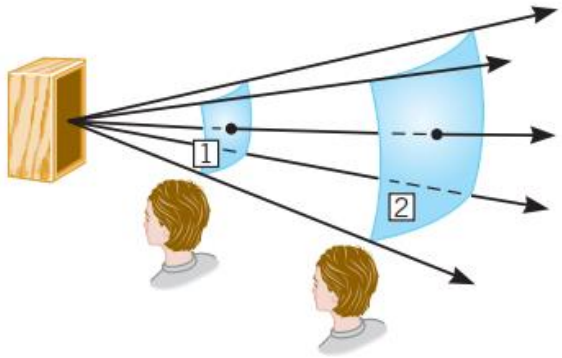
**مثال ۲۷ ) مطابق شـــکل روبرو یک گوشـــی تلفن همراه را در یک محفظه تخلیه هوای شـــیشـــه ای آویزان کنید . با برقراری تماس با گوشـی ، صـدای آن را خواهید شـنید .ولی با به کار افتادن پمپ تخلیه هوا ، صـدا به تدریج ضـعیف و سرانجام خاموش می شود ، در حالی که امواج الکترومغناطیسی همچنان به گوش می رسند . از این آزمایش چه نتیجه ای می گیرید ؟**

**شکل دیگر سوال ) آزمایشی را توضیح دهید که نشان دهد آیا صوت در خلا منتشر می شود ؟ ( تجربی خرداد ۱۴۰۳)**

**وسایل آزمایش : گوشی تلفن همراه – محفظه تخلیه هوا – پمپ تخلیه هوا**

## شدت صوت :

**فرض کنید توان صوتی یک چشمه ثابت است . اما هر چه از چشمه دور می شویم صدایی که می شنویم ضعیف تر می شود مطابق شکل هنگامی که یک موج صوتی از یک چشمه مانند بلندگو خارج می شود ، توانی را که با خود حمل می کند در فضا پخش خواهد کرد .**




$$I = \frac{P \ \rightarrow w}{A \ \rightarrow \ m^2} \rightarrow \frac{w}{m^2}$$

$$I = \frac{P}{۴\pi r^۲}$$

مثال ۲۸)امواج صوتی حاصل از یک منبع صوت در هوا به صورت کره منتشر می شود ، اگر توان این منبع $3/14 \times 10^{-5}$ وات باشد شدت صوت آن در یک نقطه به فاصله ۰/۵ متری از مبنع چند میکروووات بر متر مربع است ؟

لگاریتم (در پایه ده) نسبت شدت یک صوت به شدت صوت مبنا را تراز شدت آن صوت می نامند و آن را با $\beta$ نشان می دهند.

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

شدت مبنا : $I_0 = 10^{-12}\ \frac{w}{m^2}$

یکای تراز شدت صوت : به افتخار مخترع تلفن (الکساندر گراهام بل) بل نام گذاری شده است و آن را با B و یا b نشان می دهند .

**تذکر:** معمولا به علت گستردگی دامنه ی تراز شدت، آن را بر حسب واحد کوچکتری به نام دسی بل (dB) بیان می کنند در این صورت داریم :

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}\ (db)$$

تست۲۹)شدت صوت منبعی $10^{-6}\ \frac{w}{m^2}$ است ، تراز شدت آن چند دسی بل است ؟

۱) ۶۰ ۲) ۶ ۳) ۱۲ ۴) ۱۲۰

تست۳۰) شدت صوتی $3/2 \times 10^{-3}\ \frac{w}{m^2}$ است ، تراز شدت این صوت چند دسی بل است ؟

$\left(I_0 = 10^{-12}\ \frac{w}{m^2}\ ،\ \log 2 = 0.3\right)$

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۸۵ ۴) ۹۵

تست۳۱) تراز شدت صوتی ۳۷ دسی بل است . اگر شدت صوت مبنا برابر $10^{-12}\ \frac{w}{m^2}$ باشد ، شدت این صوت چند وات بر متر مربع است ؟ $(\log 5 = 0.7)$

۱) $7 \times 10^{-5}$ ۲) $10^{-7}$ ۳) $5 \times 10^{-9}$ ۴) $1/5 \times 10^{-9}$

مثال ۳۲) شنونده ای از فاصله ۶۴۰ متری یک چشمه صوت به فاصله ۱۶۰ متری آن می رود . تراز شدت صوتی که می شنود چند دسی بل افزایش می یابد ؟ $(\log 2 = 0.3)$ ( تجربی خرداد ۱۴۰۳)

مثال ۳۳ ) شدت یک صوت $10^{-8}\ \frac{w}{m^2}$ است . اگر تراز شدت این صوت ۲۰ دسی بل کاهش یابد . شدت آن چند وات بر متر مربع می شود ؟ ( تجربی شهریور ۱۴۰۳ )

# اثر دوپلر

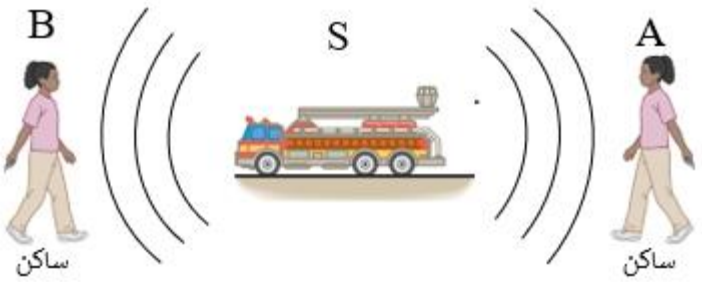
**فرض کنیم ماشین آتش نشانی آژیرکشان به سمت شما نزدیک می شود ، اثر دوپلر بررسی می کند ، صداهایی که در هنگام نزدیک شدن و دور شدن به ما می رسد ، چگونه است ؟**

**حالت اول : شنونده و منبع صوت ساکن باشد**

**منبع صوتی ، فرکانس و طول موج از خود گسیل می کند.**

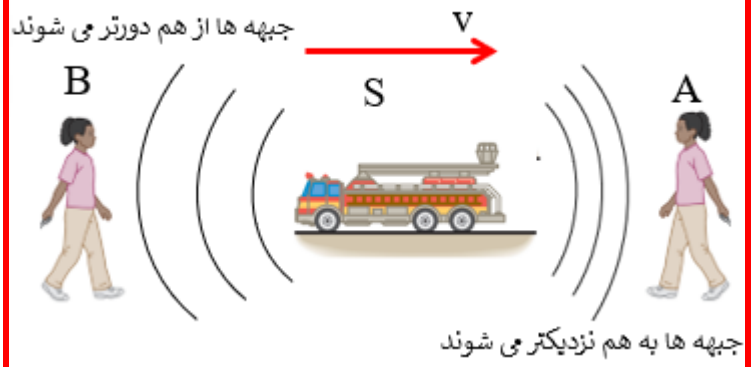
$$F_A = F_B = F_S$$
$$\lambda_A = \lambda_B = \lambda_S$$

✓ **فاصله جبهه های جلو و پشت هم مثل هم هستند.**




**حالت دوم : شنونده ها ساکن و منبع صوت حرکت می کند.**

$$F_A > F_S > F_B$$
$$\lambda_A < \lambda_S < \lambda_B$$



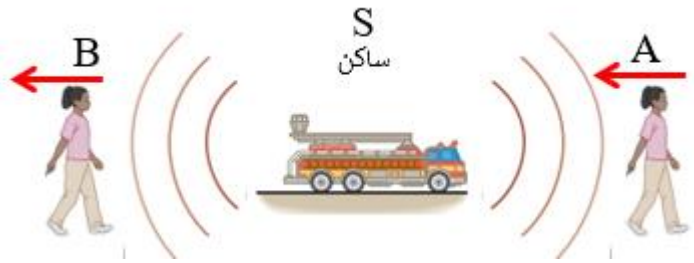

**حالت سوم : منبع ساکن و شنونده ها در حال حرکت باشند**

**وقتی منبع ساکن است فاصله جبهه های موج در جلو و عقب منبع یکسان و برابر $\lambda_S$ است**

$$\lambda_S = \lambda_B = \lambda_A$$
$$F_A > F_S > F_B$$

**وقتی شنونده A به سمت منبع حرکت می کند در یک بازه زمانی مشخص با جبهه های بیشتری مواجهه می شود که این به معنای افزایش بسامد صوتی است که ناظر A احساس می کند.**

$$F_A > F_S > F_B$$

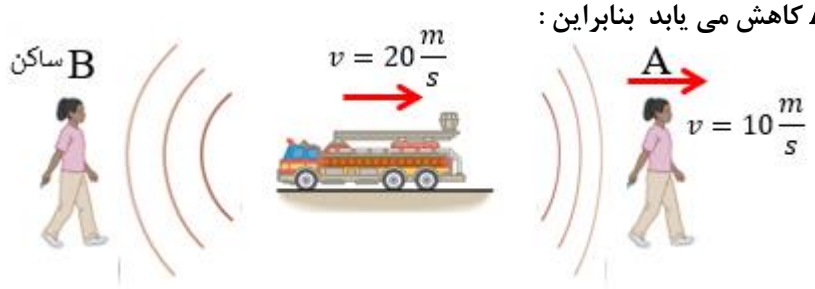


✓طول موج فقط و فقط به حرکت منبع بستگی دارد. پس هرگاه منبع ساکن باشد حرکت شنونده ها تأثیری در طول موج ندارد اما فرکانس تغییر می کند. به طور کلی اگر فاصله شنونده و منبع کم شود فرکانس زیاد می شود.

✓فرکانس هم به منبع و هم به حرکت شخص بستگی دارد . و اگر این فاصله زیاد شود فرکانس کم می شود .

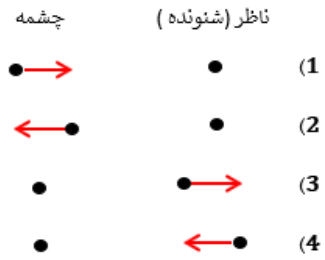
اتومبیلی صوتی با بسامد $f_S$ و $\lambda_S$ منتشر می کند بسامد و طول موج دریافتی توسط شنونده های A و B را مقایسه کند.

چون با گذشت زمان فاصله بین منبع و شنونده A کاهش می یابد بنابراین :




$$\lambda_A < \lambda_S < \lambda_B$$
$$f_A > f_S > f_B$$

تست۳۴) اگر طول موج و بسامد صوت رسیده به شخصی را با $f_0$ و $\lambda_0$ و طول موج و بسامد تولیدی چشمه را با $f_s$ و $\lambda_s$ نشان دهیم کدام حالت های زیر $f_0 > f_s$ و $\lambda_0 = \lambda_s$ است ؟




تست۳۵) در شکل روبرو ، چشمهٔ صوت ساکن ، صوتی با بسامد $f_s$ و طول موج $\lambda_s$ تولید می کند و دو شنوندهٔ (۱) و (۲) در جهت های نشان داده شده در حال حرکت هستند . اگر طول موج و بسامد دریافتی توسط شنوندهٔ (۱) ، $\lambda_1$ و $f_1$ باشد، کدام گزینه درست است ؟

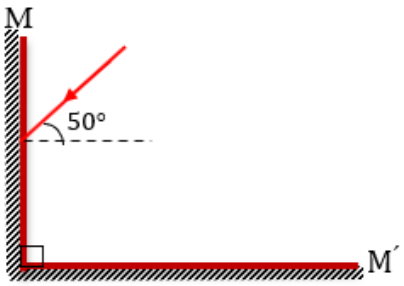
۱) $f_1 > f_s > f_2 \, , \lambda_1 < \lambda_s < \lambda_2$

۲) $f_2 > f_s > f_1 \, , \lambda_1 > \lambda_s < \lambda_2$

۳) $f_1 > f_s > f_2 \, , \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$

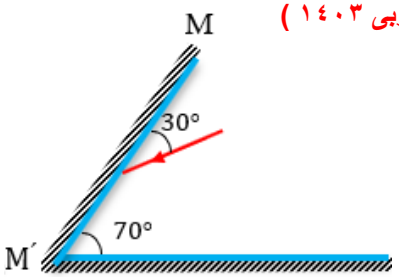
۴) $f_2 > f_s > f_1 \, , \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_s$

تست۳۶) در شکل های الف ، ب و پ مسیر پرتو های بازتابیده از آینه $M$ و $M'$ را مشخص کنید و تعیین کنید پرتوی بازتابیده از $M'$ با پرتوی تابیده شده بر $M$ چه زاویه ای می سازد ؟



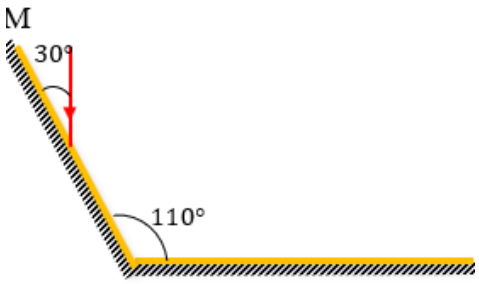

(الف)

( مشابه تجربی ۱۴۰۳ )



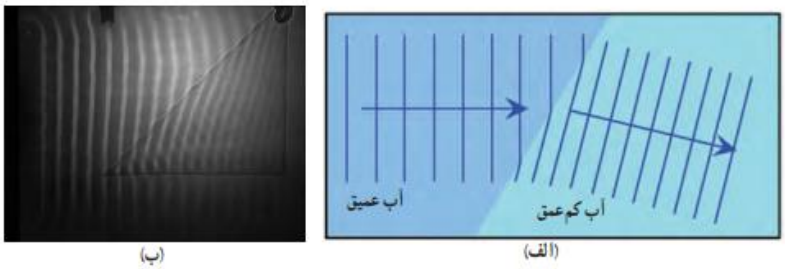

(ب)

( مشابه تجربی ۱۴۰۱ )




(پ)

# شکست موج :




در شکل مقابل ، تندی موج در محیط (۲) کمتر از محیط (۱) است . جبهه های تخت موج فرودی با طول موج $\lambda_i$ به مرز جدایی دو محیط می رسند و هر بخش از جبهه ی موج به محض عبور از مرز ، تندی اش کاهش می یابد و در نتیجه تغییر جهت می دهد . هم زمان با کاهش تندی ، طول موج هم کم می شود ( $\lambda_r < \lambda_i$ )

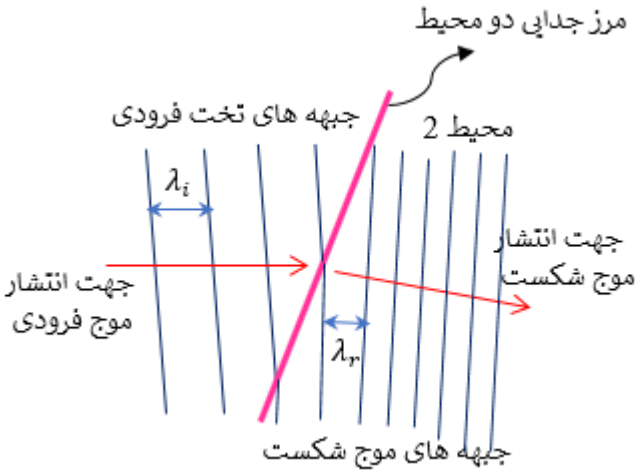
پس می توانیم بگوییم در اثر عبور موج از مرز هم زمان سه اتفاق می افتد:

۱) تندی موج تغییر می کند

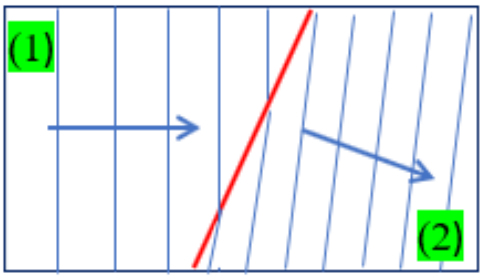
۲) طول موج تغییر می کند.

۳) موج تغییر جهت می دهد.

۴) فرکانس ثابت است



تست۳۷) شکل زیر طرحی از شکست امواج روی سطح آب در دو محیط با عمق های متفاوت را نشان می دهد . کدام گزینه در مورد تندی موج v ، طول موج $\lambda$ و عمق آب h در ناحیه های (۱) و (۲) درست است ؟




۱) $h_1 < h_2 \, , \lambda_1 < \lambda_2 \, , v_1 > v_2$

۲) $h_1 > h_2 \, , \lambda_1 < \lambda_2 \, , v_1 < v_2$

۳) $h_1 > h_2 \, , \lambda_1 > \lambda_2 \, , v_1 < v_2$

۴) $h_1 > h_2 \, , \lambda_1 > \lambda_2 \, , v_1 > v_2$

## ضریب شکست :

وقتی پرتو نوری از یک محیط شفاف وارد محیط شفاف دیگری می شود تندی نور تغییر می کند . نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در آن محیط شفاف را ضریب شکست آن محیط نسبت به خلأ گویند .

$$\text{ضریب شکست} = \frac{\text{تندی نوری در خلاء}}{\text{تندی نور در محیط}} \Rightarrow n = \frac{c}{v} \; , c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

اگر نور از یک محیط شفاف با ضریب شکست مطلق $n_1$ به محیط شفاف دیگری با ضریب شکست مطلق $n_2$ برود در این صورت :

$$\begin{cases} n_1 = \frac{c}{v_1} \\ n_2 = \frac{c}{v_2} \end{cases} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

یعنی سرعت نور در محیطی که ضریب شکست بیشتری دارد ، کمتر است و بر عکس .

# نکات

**۱)** بسامد از ویژگی های منبع تولید کننده ی موج بوده و در نتیجه در شیشه و خلأ یکسان است .

**۲)** با توجه به یکسان بودن بسامد در شیشه و خلأ ، دوره ی تناوب و بسامد زاویه ای نیز در شیشه و خلأ یکسان است .

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

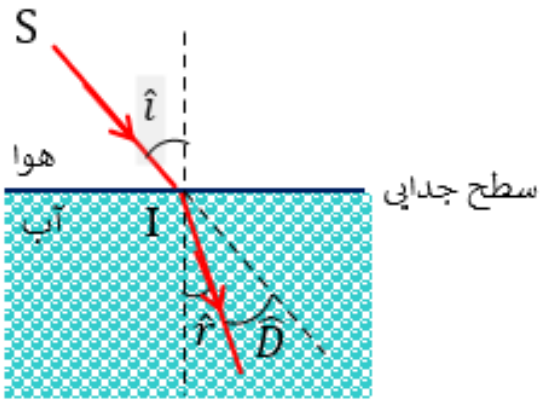
**۳)** اگر تندی موج الکترو مغناطیسی در محیطی با ضریب شکست $n_1$ برابر $v_1$ و در محیطی با ضریب شکست $n_2$ برابر $v_2$ باشد ، در مقایسه ی دو محیط داریم :

$$\boxed{n_1 v_1 = n_2 v_2}$$

**۴)** با توجه به اینکه این که در عبو موج الکترومغناطیسی از یک محیط به محیط دیگر ، طول موج مشابه با تندی تغییر می کند ، در مقایسه ی طول موج یک موج الکترو مغناطیسی در دو محیط با ضریب شکست های $n_1$ و $n_2$ نیز می توان نوشت :

$$\boxed{n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2}$$

✓ در شکل مقابل پرتوی SI از هوا ( محیط رقیق ) به درون آب ( محیط غلیظ ) وارد شده است . همان طور که در شکل مشاهده می شود ، این پرتو اندکی به خط عمود نزدیک شده است وداریم :




زاویه تابش : $\hat{i}$

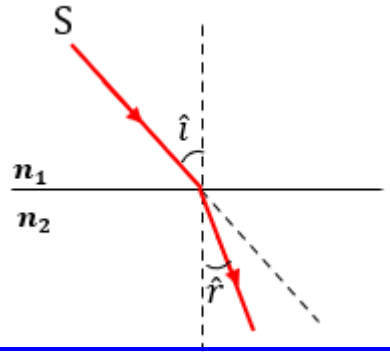
زاویه شکست : $\hat{r}$

زاویه انحراف $(\hat{D})$ : $\hat{D} = \hat{i} - \hat{r}$

## نکات مهم و کاربردی

۱) اگر پرتویی از محیط غلیظ ( ضریب شکست بیشتر) به محیط رقیق ( ضریب شکست کم تر وارد شود ، اندکی از خط عمود دور می شود .

۲) در شکل مقابل می توان نشان داد که نسبت سینوس زاویهٔ تابش به سینوس زاویهٔ شکست مقدار ثابتی بوده که مقدار آن برابر نسبت ضریب شکست محیط دوم به محیط اول است

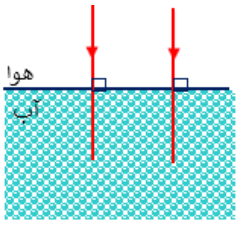



قانون شکست اسنل : $\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=\frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 \sin\hat{i}=n_2 \sin\hat{r}$

۳) می توان گفت حاصل ضرب $n\sin\alpha$ در هر دو محیط مقدار یکسانی است ($n$ ضریب شکست محیط و $\alpha$ زاویه بین پرتو با خط عمود است .) این موضوع یعنی محیطی که مقدار $n$ کم تری دارد ، زاویه $\alpha$ در آن بزرگ تر است

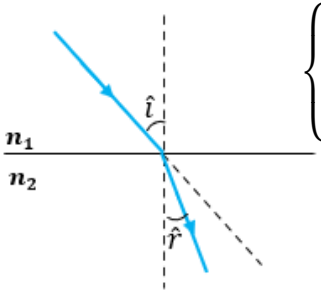
$n\sin\alpha =$ یکسان $\Rightarrow n_1 \sin\hat{i}=n_2 \sin\hat{r}$

۴) اگر پرتویی عمود بر سطح جدایی دو محیط بتابد ، بدون شکست وارد محیط دوم می شود در این حالت




$$\hat{i}=\hat{r}=0$$

تندی نور در دو محیط را می توان به زاویه ی پرتو با خط عمود ($\alpha$) به صورت زیر ارتباط داد :




$$\begin{cases}\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=\frac{n_2}{n_1}\\ \frac{v_1}{v_2}=\frac{n_2}{n_1}\end{cases} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}} \Rightarrow$$

تندی نور در محیط با $\sin\alpha$ رابطه مستقیم دارد

به راحتی می توانیم ثابت کنیم که در مدل رسم جبهه های موج ، زاویه ای که جبهه ی موج فرودی با مرز می سازد ، برابر زاویه ی تابش ( $\theta_i$ ) و زاویه ای که جبهه ی موج شکست با مرز می سازد ، برابر زاویهٔ شکست ( $\theta_r$ ) است .

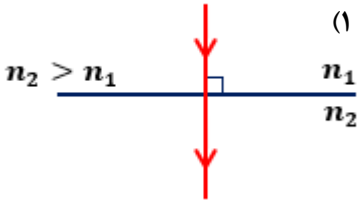
## جمع بندی

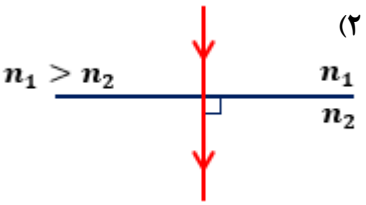
| | |
|---|---|
| ۱ | $n_1 v_1 = n_2 v_2$ |
| ۲ | $n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$ |
| ۳ | $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ |
| ۴ | $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$ |
| ۵ | $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ |

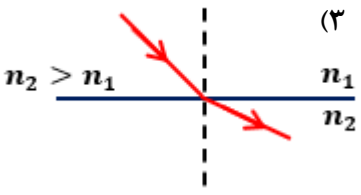
تست۳۸) اگر $\varepsilon_0$ ضریب گذردهی الکتریکی خلأ و $\mu_0$ تراوایی مغناطیسی خلأ باشد ، سرعت نور در محیط شفافی به ضریب شکست $\frac{4}{3}$ ، برابر با کدام است ؟

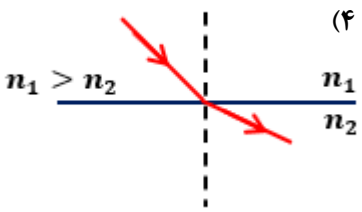
۱) $\frac{3}{4}\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ ۲) $\frac{4}{3}\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ ۳) $\frac{4}{3\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ ۴) $\frac{3}{4\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$

تست۳۹) کدام یک از شکست های زیر از نظر فیزیکی ممکن نیست ؟

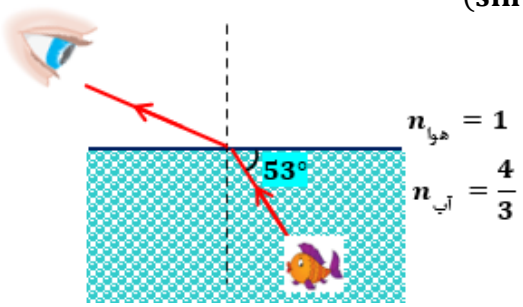
۱)



۲)



۳)



۴)


تست۴۰) مطابق شکل ، پرتوی نوری که از ماهی به چشم شخص می رسد تحت زاویه $53°$ به مرز هوا – آب برخورد کرده است زاویه شکست این پرتو در هوا چند درجه است؟$(\sin 53° = 0.8)$

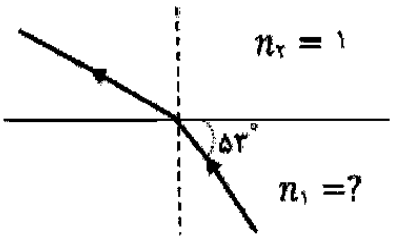



۱) ۳۷ ۲) ۵۳

۳) صفر ۴) ۹۰

مثال ۴۱ ) مطابق شکل روبه رو ، پرتوی نوری تحت زاویه $53°$ به مرز هوا – آب برخورد کرده است ، اگه زاویه ی شکست ۵۳° باشد ؛ آنگاه ضریب شکست آب را به دست آورید . ( تجربی خرداد ۱۴۰۳ )

$(\sin 53° = 0.8)$ $(\sin 37° = 0.6)$




مثال ۴۲ ) پرتو نوری از هوا وارد مایعی می شود . اگه تندی نور در مایع $2/25 \times 10^8 \frac{m}{s}$ باشد ، آنگاه ضریب شکست مایع را به دست آورید . ( ریاضی شهریور ۱۴۰۳ ) $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$

# پژواک

در برابر دیواره یا صخرهٔ بلندی که چند ده متر از شما فاصله دارد، بایستید و یک بار دست بزنید. پس از مدت زمان کوتاهی، بازتاب صدای دست زدن خود را خواهید شنید. اگر صوت پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می شنود، به چنین بازتابی پژواک می گویند. اگر تأخیر زمانی بین این دو صوت کمتر از $0.1s$ باشد، گوش انسان نمی تواند پژواک را از صوت مستقیم اولیه تمیز دهد .

مثال ۴۳) کمترین فاصلهٔ بین شما و یک دیوار بلند چقدر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ تندی صوت در هوا را $340\frac{m}{s}$ در نظر بگیرید.

تست۴۴) شخصی بین دو صخرهٔ قائم و موازی ایستاده است و فاصله اش از صخره نزدیکتر ۵۱۰ متر است. اگر این شخص فریاد بزند، اولین پژواک صدای خود را ۳ ثانیه بعد می شنود و پژواک دوم را یک ثانیه پس از آن می شنود. فاصله بین دو صخره چند متر است؟

۱) ۱۳۶۰ ۲) ۱۱۹۰ ۳) ۱۰۲۰ ۴) ۸۵۰