

# نوسان و موج



- ۱) اهمیت قوانین فیزیکی نوسان و موج در طراحی و ساخت برج های بلند
- ۲) اهمیت نصب آونگ در طبقات بالایی برج جهت کاهش نوسان های احتمالی

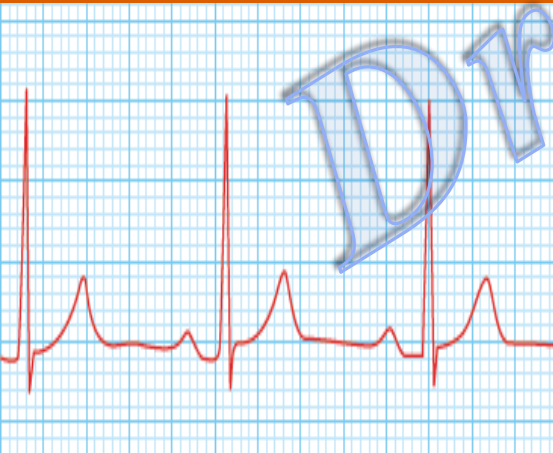
الف) دوره ای ← مثل مشهور حرکت هماهنگ ساده

نوسان ها

ب) غیر دوره ای

تعریف نوسان های دوره ای: نوسان هایی که در زمانهای مساوی و متوالی عیناً تکرار شوند نوسان

دوره ای گویند. مانند حرکت ماه به دور زمین، حرکت یک آونگ، وزنه متصل به فنر، ضربان قلب انسان.



$$f_{(\text{Hz})} = \frac{n}{t}$$

بسامد (فرکانس): تعداد نوسانات کامل در واحد زمان را فرکانس گویند

$$T_{(\text{s})} = \frac{t}{n}$$

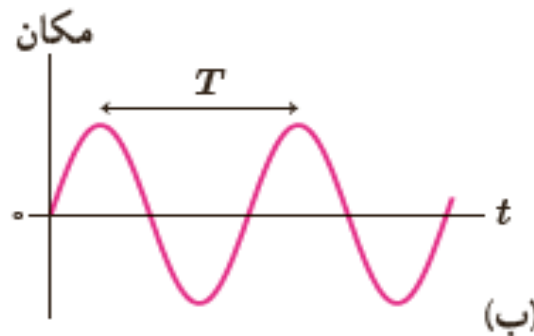
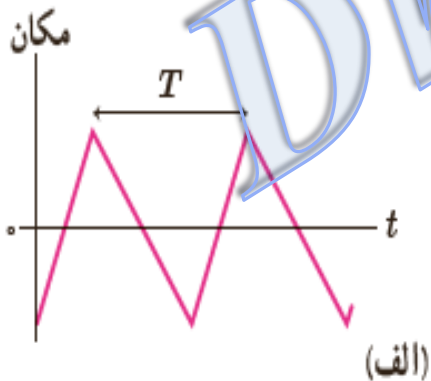
دوره تناوب (T): زمان یک نوسان کامل را دوره تناوب گویند.

$$T = \frac{1}{f}$$
$$\omega \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

نکته: رابطه بین  $T$ ،  $f$  و  $\omega$

نمودارهای مکان-زمان دو نوسان دوره ای مطابق شکل های مقابل می باشد که نمودار

(ب) بصورت سینوسی تغییر می کند



حرکت هماهنگ ساده، مبنایی برای درک هر نوع نوسان دوره ای می باشد زیرا

نوسان دوره ای را می توان مجموعه ای از نوسان های سینوسی در نظر گرفت

حرکت هماهنگ ساده (SHM): حرکتی است روی پاره خط تقریباً راست، در دو طرف نقطه وسط آن با

شتابی متناسب با فاصله نوسانگر از مرکز نوسان، بطوریکه جهت شتاب متوجه مرکز نوسان می باشد.

مکان نوسانگر (x): به فاصله نوسانگر در هر لحظه نسبت به مرکز نوسان را مکان نوسانگر یا بعد نوسانگر

گویند.

نوسانگر: جسی که حرکت نوسانی انجام دهد نوسانگر (نوسان کننده) نام دارد مانند جرم

متصل به فنر

مکان (بعد) اولیه  $(x_0)$  : مکان نوسانگر در لحظه  $t=0$  را بعد اولیه (مکان اولیه) گویند.

دامنه نوسان  $(A)$  : بیشترین فاصله نوسانگر از مرکز نوسان را دامنه نوسان گویند.

$$A = \frac{\text{طول پاره خط نوسان}}{2}$$

فاز حرکت  $(\theta = \omega t)$  : زاویه ای که در هر لحظه مکان نوسانگر را مشخص می کند.

تکته: رابطه بین نوسانات کامل

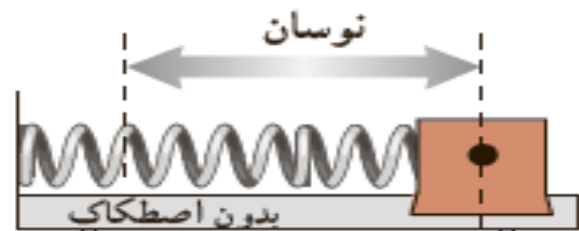
$$n = \frac{\text{تعداد رفت و برگشت ها}}{2} \quad \text{یا} \quad n = \frac{\text{نوسانات کامل}}{2}$$

$$n = \frac{\text{تعداد نوسانات ساده}}{2}$$

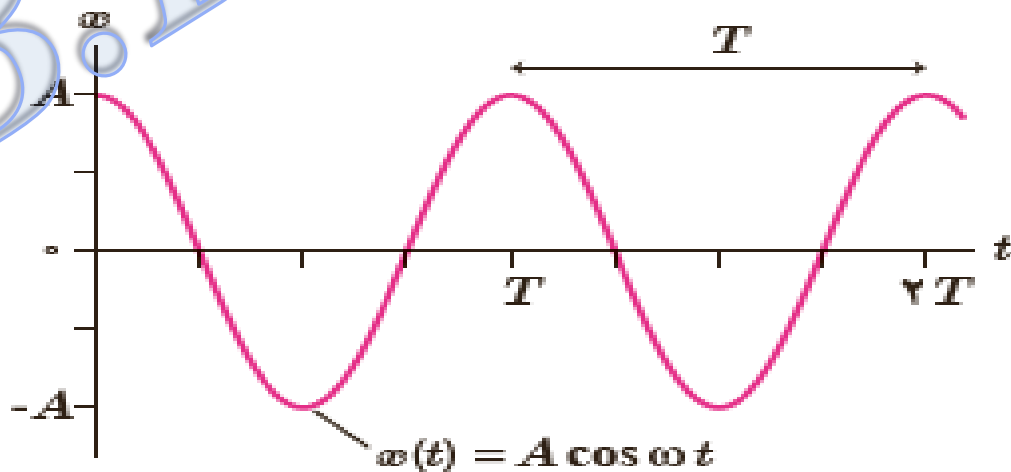
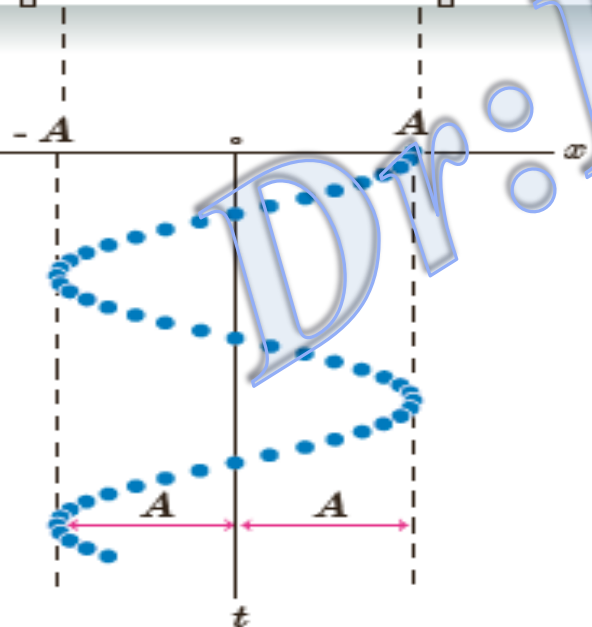
معادله مکان-زمان نوسانگر: هرگاه نوسانگری مطابق شکل در حال انجام حرکت رفت و برگشت

روی سطح افقی بدون اصطکاک بین دو نقطه  $x=+A$  و  $x=-A$  باشد. با این فرض که حرکت در لحظه

$t=0$  از انتهای مسیر یعنی  $x=+A$  شروع شود معادله مکان-زمان نوسانگر مطابق زیر است



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



نمودار مکان-زمان نوسانگر

نکته: وقتی نوسانگر در موقعیت  $x = \pm A$  قرار دارد سرعت آن در این نقاط صفر می باشد و متحرک در حال بازگشت به مرکز نوسان می باشد و به این دو نقطه، نقاط بازگشت گویند

در جهت محور حرکت

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

نکته: وقتی نوسانگر در حال عبور از نقطه تعادل است اندازه سرعت آن بیشینه می باشد

خلاف جهت محور حرکت

نکته: روابط مستقل از زمان در حرکت نوسانی هماهنگ ساده

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_{\max}}\right)^2 = 1$$

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



مثال: نوسانگری در هر ۴ ثانیه، ۱۰ بار طول مسیر ۲۰ سانتی راطی می کند. بسامد نوسان و

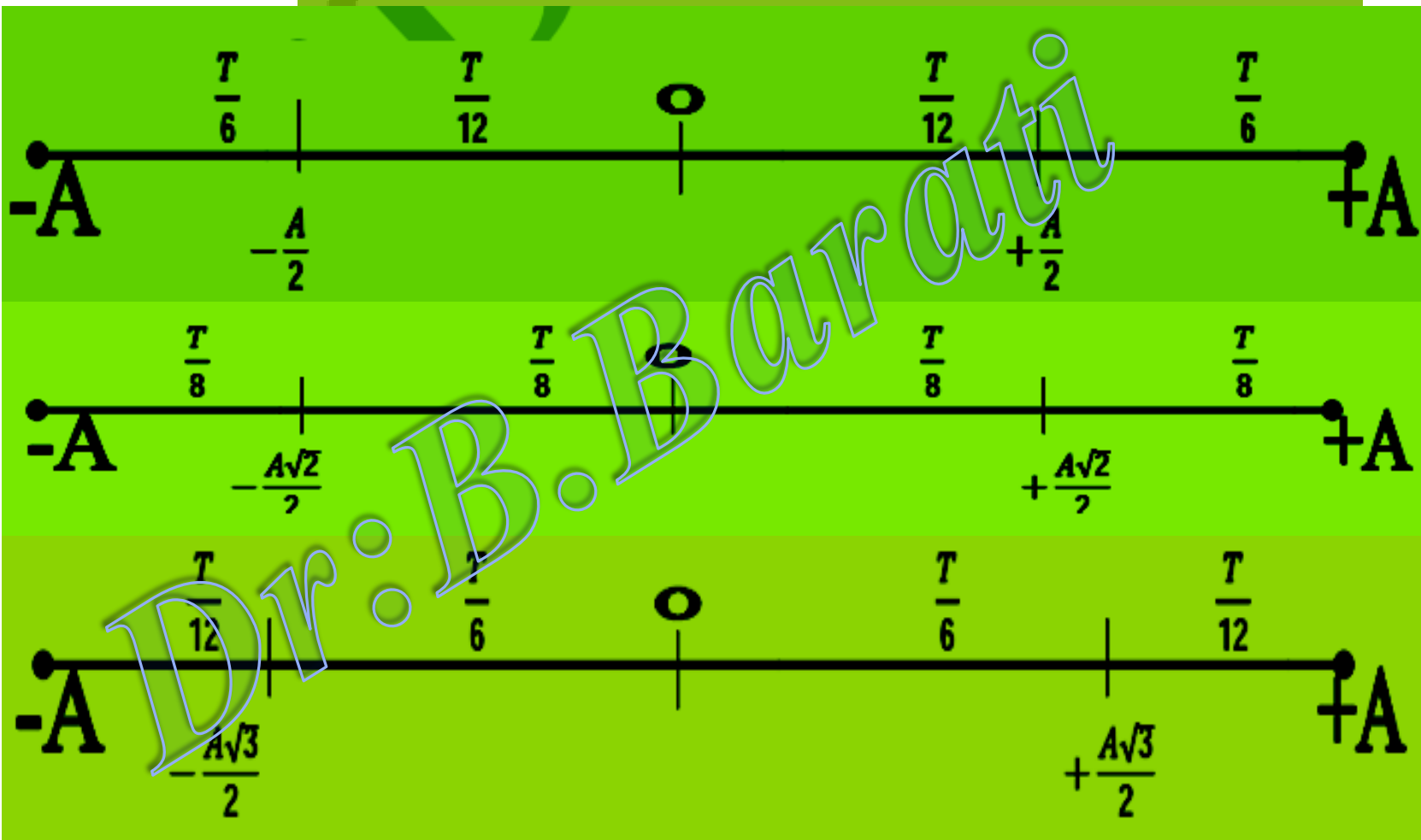
سرعت متوسط نوسانگر را هنگامیکه از ابتدای مسیر بدون تغییر جهت به انتهای مسیر می رود

بدست آورید؟

$$n = \frac{10}{2} = 5 \text{ نوسان کامل} \Rightarrow T = \frac{t}{n} = \frac{4}{5} = 0.8(s)$$
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.8} = 2.5\pi(\text{rad/s})$$
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \bar{v} = \frac{0/2}{T/2} = \frac{0/2}{0/4} = 0.5(\text{m/s})$$

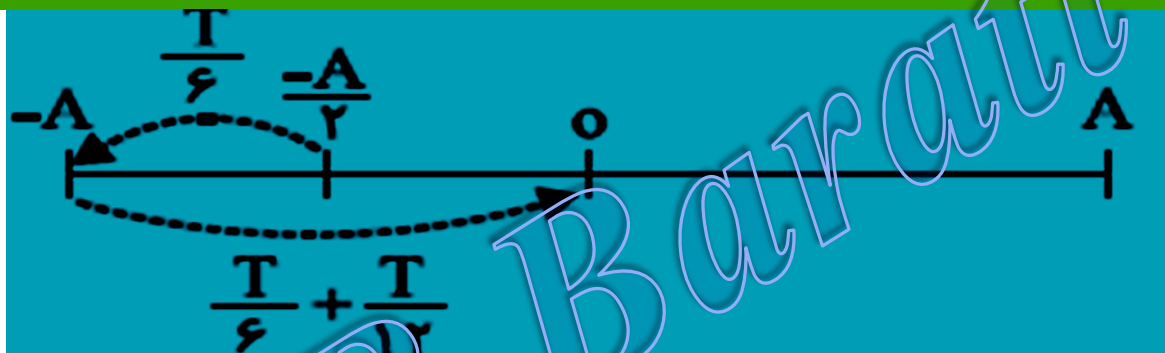


# تکنیک خط‌های طلایی برای تعیین موقعیت نوسانگر:



مثال: نوسانگری با دوره‌ی  $0.12\text{S}$  در حرکت است در ابتدا در نصف بعد پیشینه و در بعدهای منفی

قرار دارد و به طرف انتهای مسیر پیش می‌رود پس از چه مدت به مرکز نوسان می‌رسد؟



$$t = T/6 + T/6 + T/12 = \frac{5}{12}T = 0.05(s)$$



بررسی حرکت تند شونده و کند شونده در حرکت نوسانی هماهنگ ساده:

شکل مقابل نمودار مکان - زمان یک نوسانگر ساده را نشان می‌دهد. این نوسانگر در مدت یک دقیقه مسافت

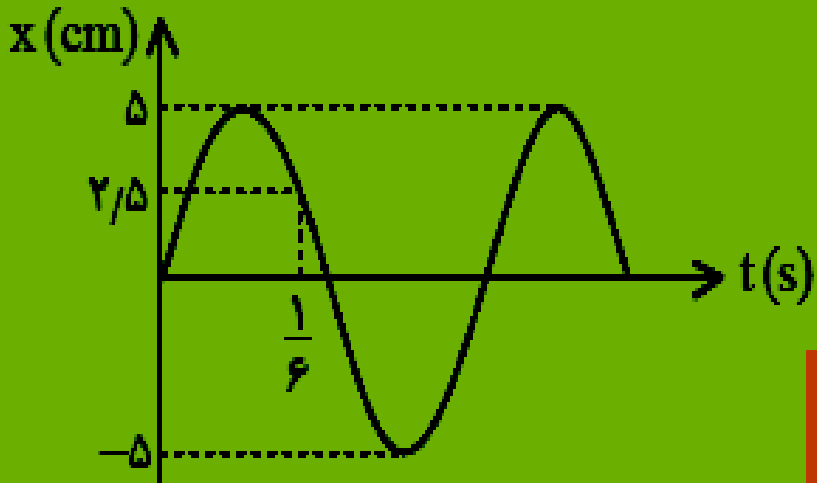
چند متر را طی می‌کند؟

۱۰ (۱)

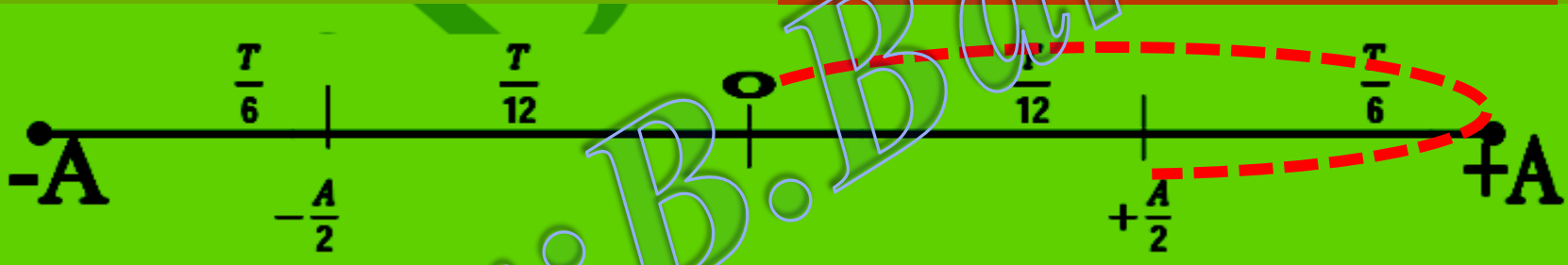
۱۵ (۲)

۳۰ (۳)

۴۵ (۴)



نره در ربع دوم قرار دارد. فلز آن برابر  $\frac{5\pi}{6}$



150  
360  
T  
T = 0.4(s)

0.4      1  
60      n  
n = 150

$L = n (4A) = 150 \times 4 \times 0.05 = 30(m)$

مثال: دورهی نوسانگر ساده ای  $\frac{\pi}{50}$  S و دامنه‌ی آن 2cm است در لحظه‌ای که نوسانگر به اندازه

$\sqrt{3}$ cm از وضع تعادل دور شده است بزرگی سرعت آن چند m/s است.

۲۰ (د)

۱۰ (ج)

۲ (ب)

۱ (الف)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{50}} = 100 \text{ rad/s}$$

$$V = \omega \sqrt{A^2 - x^2} = 100 \sqrt{4 - 3} = 100 \text{ cm/s} = 1 \text{ m/s}$$

در یک حرکت نوسانی ساده، نوسانگر در هر دقیقه ۳۰ بار طول پایداریت مسیر را طی می‌کند. تغییر فاز این نوسانگر در بازه‌ی زمانی  $t_1 = 2$ s و  $t_2 = 4$ s چند رادیان است؟

$2\pi$  (د)

$\frac{\pi}{6}$  (ج)

$\frac{\pi}{2}$  (ب)

$\pi$  (الف)

$$n = \frac{30}{2} = 15 \text{ نوسان کامل}$$

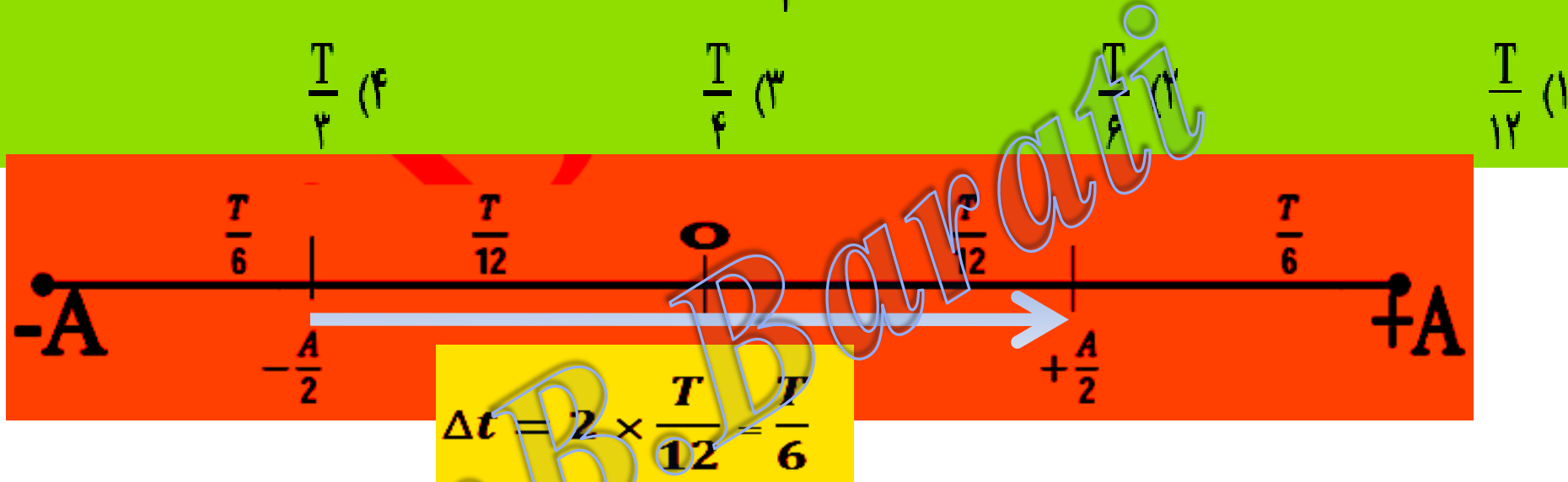
$$T = \frac{t}{n} = \frac{60}{4} = 15 \text{ (s)}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{15} = \frac{2\pi}{15} \text{ (rad/s)}$$

$$\Delta\theta = \omega \Delta t \Rightarrow \Delta\theta = \frac{2\pi}{15} (4 - 2) = \frac{4\pi}{15} \text{ (Rad)}$$

در یک حرکت هماهنگ ساده با دامنه‌ی  $A$  و دوره‌ی تناوب  $T$  نوسانگر در یک لحظه در مکان  $-\frac{A}{2}$  بوده و سرعت آن

مثبت است. کمترین زمان لازم برای آنکه نوسانگر به مکان  $+\frac{A}{2}$  رفته و همچنان سرعت مثبت باشد کدام است؟



در حرکت نوسانی ساده اگر دامنه‌ی حرکت  $2$  برابر شود، دوره‌ی حرکت ... و بیشینه‌ی سرعت نوسانگر ... می‌شود.

- (۱) ثابت - نصف      (۲) ثابت - دو برابر      (۳) دو برابر - دو برابر      (۴) دو برابر - ثابت

**ثابت =  $T$**

$$\frac{v_{2\max}}{v_{1\max}} = \frac{A_2 \omega}{A_1 \omega} \Rightarrow \frac{v_{2\max}}{v_{1\max}} = 2$$

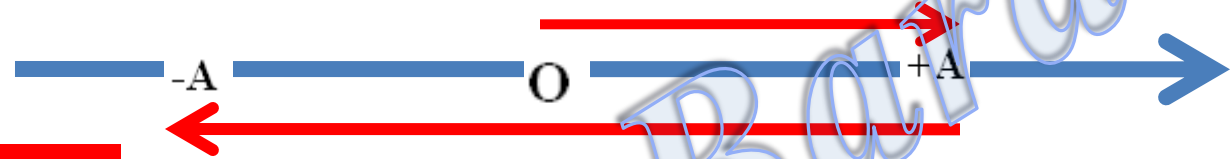
ذره‌ای روی پاره‌خطی به طول ۱۲ سانتی‌متر با بسامد ۱۰ هرتز از مرکز نوسان روبه سوی مثبت شروع به نوسان می‌کند. سرعت متوسط و مسافت طی شده بین دو لحظه‌ی صفر و  $\frac{3}{4}$  ثانیه کدام گزینه است؟

۱۸cm و  $\frac{1}{6} \frac{m}{s}$  (۴)

۱۸cm و  $0.18 \frac{m}{s}$  (۳)

۱۲cm و  $\frac{1}{6} \frac{m}{s}$  (۲)

۱۲cm و  $0.18 \frac{m}{s}$  (۱)



$t_0 = 0$   
 $x_1 = 0$   
 $t_1 = \frac{3}{40}$   
 $T = \frac{1}{10}$

$t_1 = 3 \frac{T}{4} \Rightarrow x_2 = -6cm$

$V_{av} = \frac{-6 - 0}{\frac{3}{40}} = -80 \frac{cm}{s} = -0.8m/s$

$L = 6 + 12 = 18cm$

معادله‌ی سرعت بر حسب مکان یک نوسانگر ساده در دستگاه SI به صورت  $36\pi^2 x^2 + 4v^2 - 4\pi^2 = 0$  است. دوره‌ی حرکت چند ثانیه است؟

۲ (ف)

$\frac{3}{2}$  (ج)

$\frac{4}{3}$  (ب)

$\frac{1}{2}$  (ا)

$$v^2 = \pi^2 - 9\pi^2 x^2$$

$$v^2 = A^2 \omega^2 - \omega^2 x^2$$

$$9\pi^2 = \omega^2 \Rightarrow \omega = 3\pi$$

$$3\pi = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2}{3} \text{ (s)}$$



مثال: دوره‌ی نوسانگر ساده‌ای  $\frac{\pi}{50}$  S و دامنه‌ی آن 2cm است. در لحظه‌ای که نوسانگر به اندازه  $\sqrt{3}$ cm از وضع تعادل دور شده است بزرگی سرعت آن چند m/s است.

Dr. B. Boroujeni

۲۰ (د)

۱۰ (ج)

۲ (ب)

۱ (الف)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{50}} = 100 \text{ rad/s}$$

$$v = \omega \sqrt{A^2 - x^2} = 100 \sqrt{4 - 3} = 100 \text{ cm/s} = 1 \text{ m/s}$$



مثال: معادله‌ی سرعت - مکان نوسانگری در SI بصورت  $\frac{25}{\pi^2} v^2 + 2500 x^2 = 1$  است. بسامد

نوسان چند هرتز است.

الف) 0.5

ب) 1

ج) 2

د) 5

مقایسه

$$\begin{cases} \frac{25}{\pi^2} v^2 + 2500 x^2 = 1 \Rightarrow \frac{25}{\pi^2} v^2 = \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 \Rightarrow v_m = \frac{\pi}{5} \text{ (m/s)} \\ \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 + \left(\frac{x}{A}\right)^2 = 1 \Rightarrow 2500 x^2 = \frac{x^2}{A^2} \Rightarrow A = \frac{1}{50} \text{ (m)} \end{cases}$$
$$v_{\max} = A\omega \Rightarrow \frac{\pi}{5} = \frac{1}{50} \times 2\pi f \Rightarrow f = 5\text{Hz}$$

معادله‌ی مکان - زمان نوسانگری در SI به صورت  $x = 0.1 \sin\left(\frac{5\pi t}{6}\right)$  داده شده است. نوع حرکت در ۰/۵ ثانیه‌ی سوم چگونه است؟

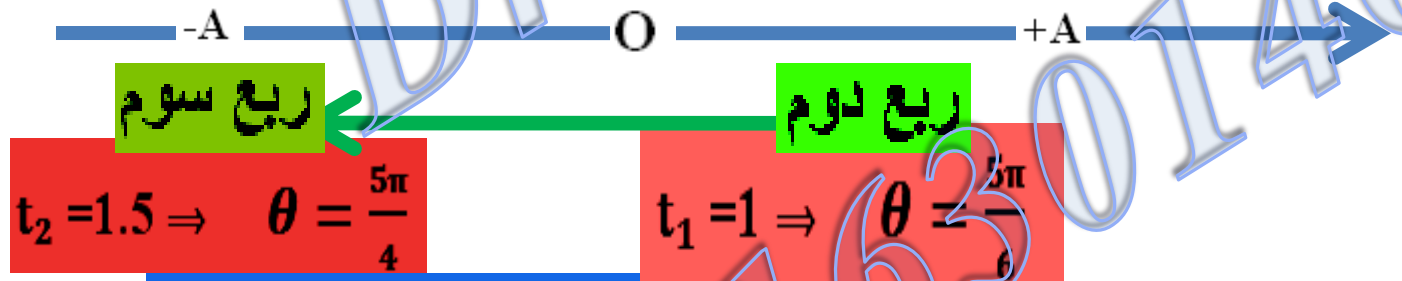
(۱) همواره گذشونده

(۲) همواره تندشونده

(۳) اول گذشونده سپس تندشونده

(۴) اول تندشونده سپس گذشونده

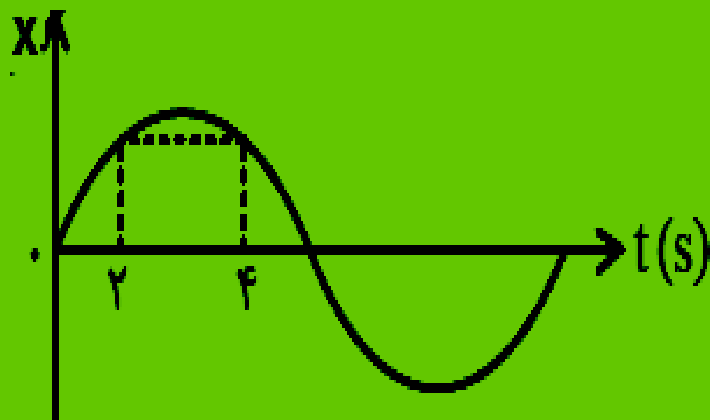
۰/۵ ثانیه‌ی سوم در بازه‌ی  $1 \leq t \leq 1.5$  است



حرکت ابتدا تندشونده و سپس گذشونده

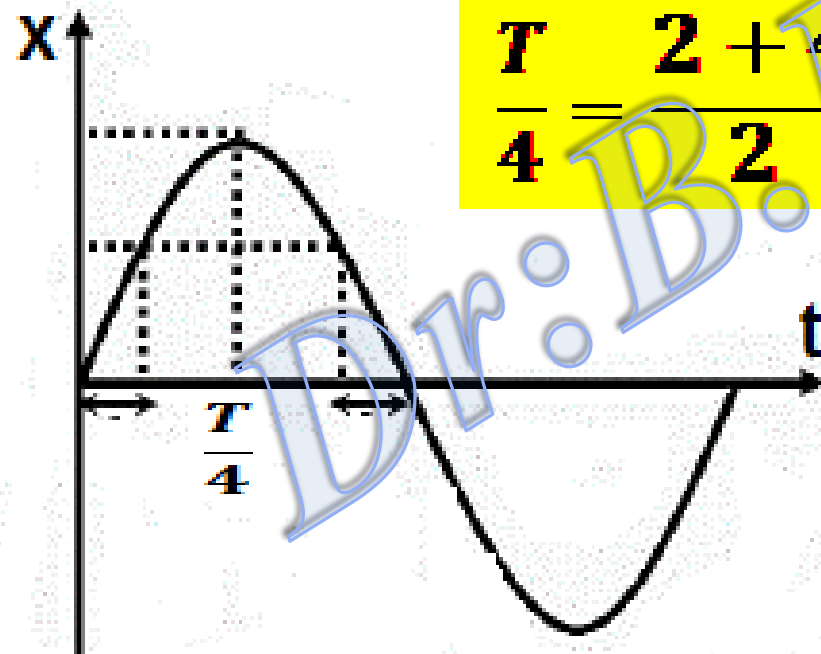
نمودار مکان - زمان نوسانگری به صورت مقابل است. در لحظه‌ی  $t = 2$  s سرعت نوسانگر چه کسری از سرعت

بیشینه است؟



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

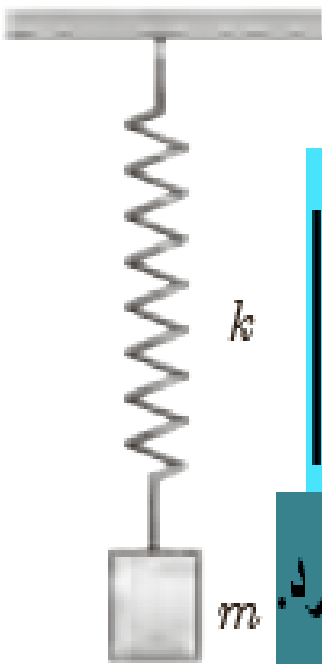
$$\frac{\sqrt{2}}{2} \quad (2)$$



$$\frac{T}{4} = \frac{2 + 4}{2} \Rightarrow T = 12$$

$$t=2 \Rightarrow \theta = 60 \Rightarrow V_{max} = \frac{v}{2}$$

# دوره تناوب سیستم جرم - فنر:



$$K = m\omega^2$$
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

✓ دوره تناوب وزنه متصل به فنر یا جرم رابط مستقیم و با جذر ثابت فنر رابطه عکس دارد.

✓ دوره وزنه متصل به فنر به دامنه نوسان بستگی ندارد به شرطی که دامنه نوسان زیاد نباشد.

مثال: قطعه‌ای به جرم  $680\text{g}$  به فنری با ثابت فنر  $k = 65\text{N/m}$  بسته شده است. قطعه را به اندازه مشخصی از مکان تعادل خود روی یک سطح افقی بدون اصطکاک می‌کشیم و از حالت سکون رها می‌کنیم. الف) دوره تناوب و ب) بسامد زاویه‌ای نوسان

چقدر می‌شود؟

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{0.680\text{kg}}{65\text{N/m}}} = 0.64\text{s}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{65\text{N/m}}{0.680\text{kg}}} = 9.8\text{ rad/s}$$

مثال: روی یک سطح افقی بدون اصطکاک، نوسانگری با دامنه ۵cm حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد.

اگر جرم نوسانگر ۲۰۰g و ثابت فنر  $20 \frac{N}{m}$  باشد، هنگامی که نوسانگر در فاصله ۴cm از مرکز نوسان قرار

دارد، اندازه سرعت آن چند cm/s است؟

۰/۳ (د)

۰/۳ (ج)

۳ (ب)

۳۰ (الف)

$$K = m\omega^2 \Rightarrow 20 = 0.2\omega^2 \Rightarrow \omega = 10 \text{ rad/s}$$

$$V = \omega \sqrt{A^2 - x^2} \Rightarrow V = 10 \sqrt{5^2 - 4^2} \Rightarrow V = 30 \text{ cm/s}$$

در نوسانگر ساده‌ی شکل مقابل، اگر وزنه را از حالت تعادل ۱۲ سانتی‌متر به سمت راست آورده و با سرعت اولیه‌ی ۱ متر بر ثانیه به سمت راست پرتاب کنیم، دامنه‌ی این حرکت نوسانی چند سانتی‌متر خواهد شد؟



۲۰ (۲)

$20\sqrt{2}$  (۱)

۱۳ (۴)

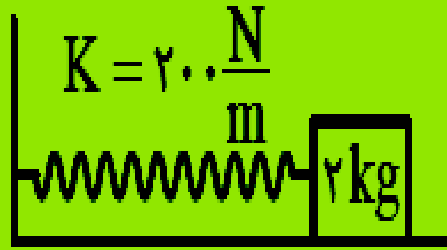
$10\sqrt{2}$  (۳)

$$K = m\omega^2 \Rightarrow 400 = 1 \times \omega^2 \Rightarrow \omega = 20 \text{ rad/s}$$

$$v = \omega \sqrt{A^2 - x^2} \Rightarrow 100 = 20 \sqrt{A^2 - 12^2} \Rightarrow A = 13 \text{ cm}$$

در شکل روبه‌رو، با صرف نظر کردن از اتلاف انرژی، در صورت نوسان دستگاه در مدت چند ثانیه، ۸ بار طول پاره

خط مسیری طی می‌شود؟ ( $\pi = 3$ )



۱/۵ (۲)

۲/۴ (۱)

۲/۶ (۲)

۴/۸ (۳)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{2}{200}} \Rightarrow T = \frac{\pi}{5} = 0.6$$

$$T = \frac{t}{n} \Rightarrow 0.6 = \frac{t}{4} \Rightarrow t = 2.4(s)$$

مثال: بسامد نوسانات نوسانگر دستگاه وزنه - فنر به جرم  $m$  برابر  $f$  است اگر جسمی به جرم  $m'$

را به جسم  $m$  متصل کنیم بسامد دستگاه جدید  $f/3$  می‌شود نسبت  $\frac{m'}{m}$  چقدر است.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow \frac{f'}{f} = \sqrt{\frac{m}{m+m'}} \Rightarrow \frac{1/3 f}{f} = \sqrt{\frac{m}{m+m'}}$$

$$\frac{1}{3} = \sqrt{\frac{m}{m+m'}} \Rightarrow \frac{1}{9} = \frac{m}{m+m'} \Rightarrow 9m = m + m' \Rightarrow 8m = m' \Rightarrow \frac{m'}{m} = 8$$

# انرژی در حرکت هماهنگ ساده

$E = K + U$  انرژی مکانیکی

در مرکز نوسان سرعت نوسانگر بیشینه است

در مرکز نوسان  $x = 0 \Rightarrow k_{\max} = E = \frac{1}{2} m v_m^2$

$v_{\max} = A\omega$

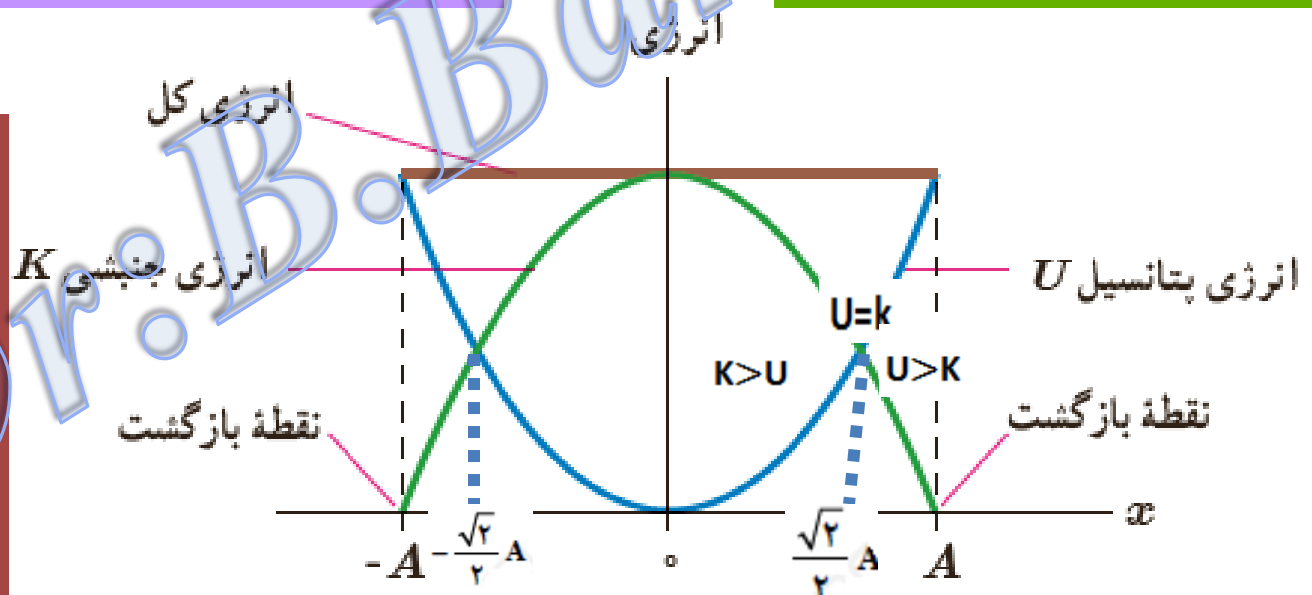
$U = 0$

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

$$\frac{K}{U} = \frac{A^2 - x^2}{x^2}$$

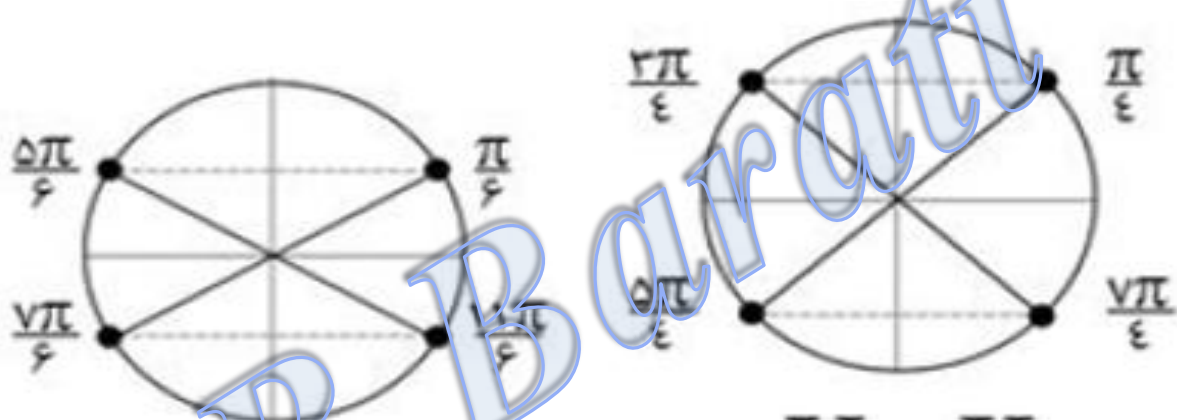
$$\frac{K}{E} = \frac{A^2 - x^2}{A^2}$$

$$\frac{U}{E} = \left(\frac{x}{A}\right)^2$$



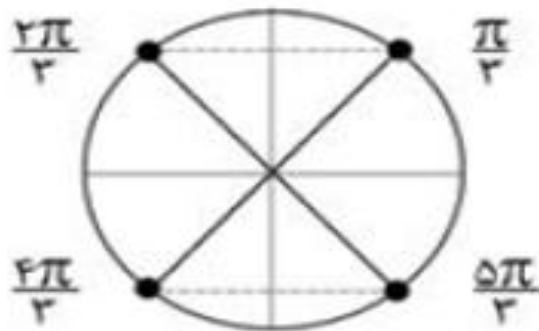


نکته مهم: برای حل مسائل انرژی می توان از خانواده فازهای  $\frac{\pi}{3}$  یا  $\frac{\pi}{4}$  یا  $\frac{\pi}{6}$  استفاده کرد.



$$K = 3U$$

$$U = K$$



$$U = 3K$$

Dr. B. Barati

مثال: معادله ی حرکت هماهنگ ساده ای در SI بصورت  $x=0.04\sin 10\pi t$  است اگر جرم

نوسانگر 200 گرم باشد معادله پتانسیل-زمان آن در SI کدام است؟  $\pi^2 = 10$

الف)  $U_e = 0.04\sin^2 10\pi t$       ب)  $U_e = 0.04\cos^2 10\pi t$

ج)  $U_e = 0.16\sin^2 10\pi t$       د)  $U_e = 0.16\cos^2 10\pi t$

$$U_e = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2 = \frac{1}{2} \times \frac{2}{10} \times 100\pi^2 \times 0.0016 \sin^2 10\pi t = 0.16 \sin^2 10\pi t$$

مثال: معادله ی انرژی جنبشی - مکان یک نوسانگر که حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد در

SI بصورت  $K=0/16-400x^2$  دامنه ی حرکت نوسانگر چند cm است

الف) ۲

ب) ۴

ج) ۸

د) ۱۶

$$K = \frac{1}{2} m \omega^2 (A^2 - x^2) = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 - \frac{1}{2} m \omega^2 x^2$$

$$\left| \frac{1}{2} m \omega^2 = 400 \Rightarrow m \omega^2 = 800 \right.$$

$$\Rightarrow A = 0/02m = 2cm$$

$$\left| \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = 0/16 \Rightarrow m \omega^2 A^2 = 0/32 \right.$$

مثال: در لحظه‌ای معین، انرژی پتانسیل کشائی نوسانگر هماهنگ ساده‌ای،  $0.3 \text{ J}$  از انرژی جنبشی آن کمتر است اگر ثابت فنر این نوسانگر برابر  $100 \text{ N/m}$  و دامنه نوسان های آن برابر  $10 \text{ cm}$  باشد در این لحظه جنبشی این نوسانگر چند ژول است.

الف)  $0.4$

ب)  $0.1$

ج)  $0.165$

د)  $0.35$

$$K - u = 0.3 \Rightarrow u = K - 0.3$$

$$E = \frac{1}{2} K A^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times \frac{1}{100}$$

$$= 0.5 \text{ J} \Rightarrow E = K + U \Rightarrow 0.5 = K + K - 0.3$$

$$0.5 + 0.3 = 2K \Rightarrow K = 0.4 \text{ J}$$

الف) نشان دهید تندی پیشینه در حرکت هماهنگ ساده برابر است با  $A\omega$ .

ب) تندی نوسانگر هماهنگ ساده‌ای که با دامنه  $10 \text{ cm}$  و دوره  $0.5 \text{ s}$  نوسان می‌کند هنگام عبور از نقطه تعادل چقدر است؟

$$\frac{1}{2} m v_{\max}^2 = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \Rightarrow v_{\max} = A\omega = 2\pi A f$$

$$v_{\max} = A\omega = A \left( \frac{2\pi}{T} \right) = (0.1 \text{ m}) \left( \frac{2\pi}{0.5 \text{ s}} \right) = 1.25 \text{ m/s}$$

مثال:  $A$  دامنه و  $X$  مکان یک نوسانگر است. در لحظه‌ای که  $x=A$  است انرژی پتانسیل نوسانگر

$0.36 \text{ J}$  است اگر  $x = \frac{\sqrt{3}}{2} A$  شود انرژی جنبشی نوسانگر چند ژول می‌شود؟

(د)  $0.27$

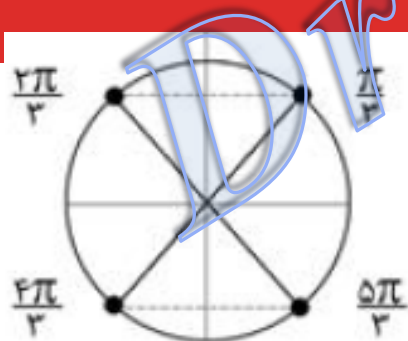
(ج)  $0.18$

(ب)  $0.09$

(الف)  $0.06$

$$x = A \Rightarrow E = U_{\max} = 0.36 \Rightarrow \frac{k}{E} = \frac{A^2 - x^2}{A^2} \Rightarrow \frac{k}{0.36} = \frac{A^2 - \frac{3}{4}A^2}{A^2}$$

$$\frac{k}{0.36} = \frac{1}{4} \Rightarrow k = \frac{0.36}{4} = 0.09 \text{ J}$$

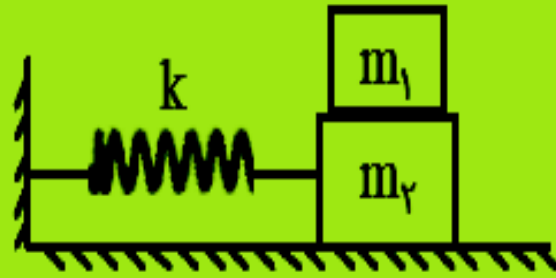


$$U = 3K$$

روش دوم با استفاده از خانواده فازی

$$E = k + U \Rightarrow 0.36 = K + 3K \Rightarrow K = 0.09$$

در شکل مقابل جرم دو وزنه یکسان و دستگاه روی سطح افقی حرکت نوسانی ساده انجام می‌دهد. به طوری که  $m_2$  روی  $m_1$  نمی‌لغزد. اگر وقتی  $m_2$  از مرکز نوسان می‌گذرد، وزنه‌ی  $m_1$  را از روی  $m_2$  برداریم، دامنه‌ی حرکت نوسانی وزنه  $m_2$  چند برابر می‌شود؟



(۱) ثابت می‌ماند

(۲)  $\frac{1}{2}$  برابر می‌شود

(۳)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  برابر می‌شود

(۴)  $\sqrt{2}$  دو برابر می‌شود

اگر وزنه  $m_1$  برداشته شود انرژی مکانیکی نصف می‌شود این معادل این است که دامنه نوسان برابر

$$A' = \frac{\sqrt{2}}{2} A$$

مثال: لحظه‌ای که انرژی پتانسیل کشسانی نوسانگر ساده‌ای، ۲۵ درصد انرژی مکانیکی است

$$u = \frac{1}{4} E \Rightarrow \frac{u}{E} = \frac{x^2}{A^2} \Rightarrow \frac{1/4 E}{E} = \frac{x^2}{A^2} \Rightarrow \frac{x^2}{A^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{x}{A} = \pm \frac{1}{2}$$

بزرگی مکان نوسانگر چند برابر دامنه آن است؟

(د)  $\frac{1}{2}$

(ج)  $\frac{1}{4}$

(ب)  $\frac{1}{5}$

(الف)  $\frac{3}{4}$

مثال: اگر  $E$  و  $m$  به ترتیب انرژی مکانیکی و جرم یک نوسانگر ساده باشند، سرعت نوسانگر در لحظه عبور از نقطه ی تعادل برابر با کدام است؟

$$\left(\frac{E}{2m}\right)^2 \quad (\text{د})$$

$$\frac{2E}{m^2} \quad (\text{ج})$$

$$\frac{E}{2m^2} \quad (\text{ب})$$

$$\left(\frac{2E}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{الف})$$

$$x = 0 \Rightarrow k_{\max} = E = \frac{1}{2} mV^2 \Rightarrow V^2 = \frac{2E}{m} \Rightarrow V = \left(\frac{2E}{m}\right)^{\frac{1}{2}}$$

مثال: دامنه ی حرکت نوسانگر وزنه - فنر 5cm است اگر جرم وزنه 20 گرم و ثابت فنر  $200 \frac{N}{m}$  باشد انرژی کل نوسانگر چند ژول است.

۵۰ (د)

۵ (ج)

۲/۵ (ب)

۰/۲۵ (الف)

$$E = \frac{1}{2} kA^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times \frac{25}{10000} = E = 0/25j$$

مثال نمودار انرژی پتانسیل - مکان نوسانگری به جرم  $400 \text{ g}$  مطابق شکل است دوره ی نوسانگر چند ثانیه

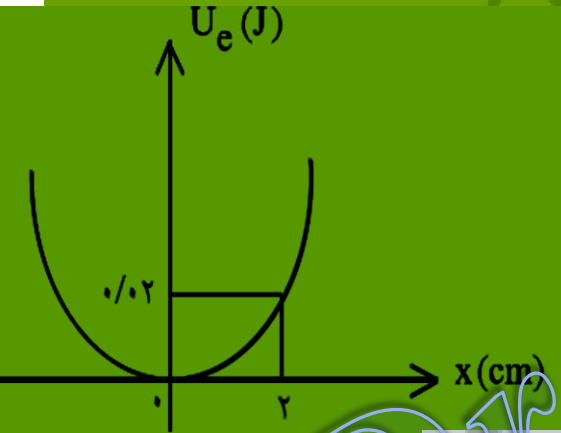
است؟  $\pi^2 = 10$

الف) ۲

ب) ۴

ج) ۲

د) ۴



$$u = \frac{1}{2} m \omega^2 x^2 \Rightarrow 0.02 = \frac{1}{2} \times \frac{4}{10} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \left( \frac{2}{100} \right)^2$$

$$\frac{2}{100} = \frac{2}{10} \times \frac{4\pi^2}{T^2} \times \frac{4}{100} \Rightarrow T^2 = 16 \Rightarrow T = 4(\text{s})$$



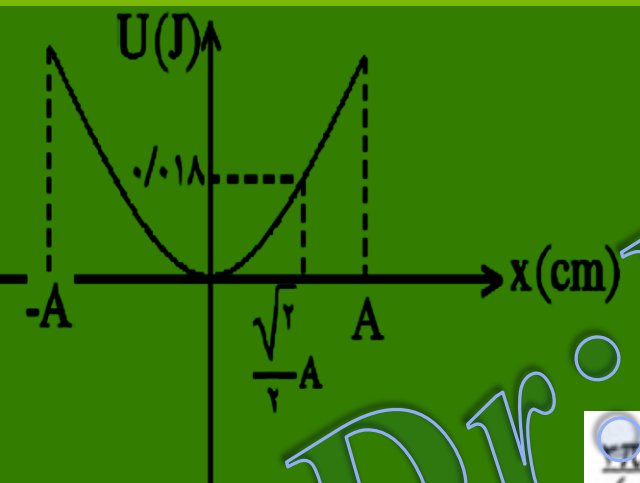
مثال: نمودار انرژی پتانسیل بر حسب مکان نوسانگر ساده ای مطابق شکل است انرژی مکانیکی نوسانگر چند ژول است؟

0.018√3 (د)

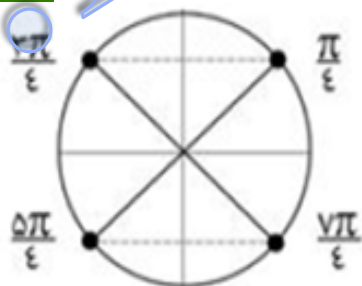
0.018√2 (ج)

0.036 (ب)

0.024 (الف)



$$E = \frac{A^2}{x^2} \Rightarrow \frac{E}{0.018} = \frac{A^2}{\frac{2}{4}A^2} \Rightarrow E = 0.036J$$



$U = K$

روش دوم با استفاده از خانواده فازی

$$E = K + U \Rightarrow E = 0.018 + 0.018 = 0.036j$$

مثال: معادله حرکت نوسانی در SI بصورت  $x = 0.2 \sin(20\pi t)$  است در چه لحظه ای بر حسب ثانیه

برای اولین بار، نسبت انرژی پتانسیل کششی نوسانگر به انرژی های جنبشی آن برابر  $\frac{1}{3}$  می شود؟

الف)  $\frac{1}{80}$

ب)  $\frac{1}{120}$

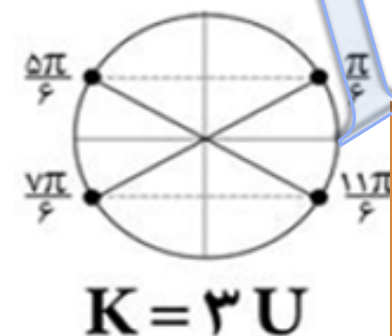
ج)  $\frac{1}{24}$

د)  $\frac{1}{60}$

$$\frac{u}{K} = \tan^2(\omega t) = \frac{1}{3} \Rightarrow \tan(\omega t) = \pm \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow \tan \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{3} \rightarrow \omega t = \frac{\pi}{6} \text{ یا } 5 \frac{\pi}{6}$$

$$\tan 5 \frac{\pi}{6} = -\frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\left| \begin{array}{l} \omega t = \frac{\pi}{6} \xrightarrow{\omega = 20\pi} 20\pi t = \frac{\pi}{6} \Rightarrow t = \frac{1}{120} \text{ بار اولی} \\ \omega t = 5 \frac{\pi}{6} \xrightarrow{\omega = 20\pi} 20\pi t = 5 \frac{\pi}{6} \Rightarrow t = \frac{1}{24} \text{ بار دومین} \end{array} \right.$$



روش دوم با استفاده از خانواده فازی

$$\omega t = \frac{\pi}{6} \Rightarrow 20\pi t = \frac{\pi}{6} \Rightarrow t = \frac{1}{120} (s)$$

اولین بار یعنی فاز  $\frac{\pi}{6}$  ←

مثال: نوسانگری به جرم  $100\text{gf}$  روی پاره خطی بطول  $20\text{cm}$  حرکت هماهنگ ساده انجام می دهد و در

مدت  $\frac{1}{4}$  ثانیه از مرکز نوسان به انتهای مسیر می رسد انرژی جنبشی نوسانگر در مرکز نوسان چند میلی ژول است.

الف) ۲

ب) ۱

ج) ۲۰

د) ۲۵

$$\frac{T}{4} = \frac{1}{4} \Rightarrow T = 1 \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi$$

$$A = \frac{20}{2} = 10\text{cm} = 0.1\text{m}$$

$$K_{\max} = \frac{1}{2} m V_m^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{100} \times A^2 \omega^2$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{100} \times 4\pi^2 = 2 \times 10^{-3}\text{J} = 2\text{mJ}$$

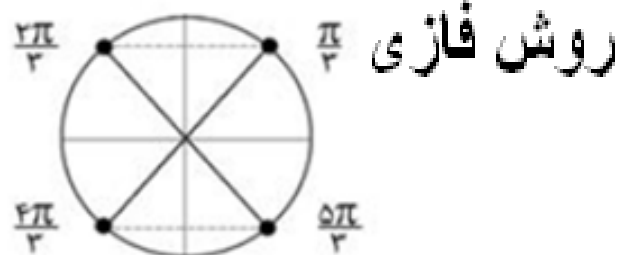
در لحظه‌ای که فاز نوسان گر ساده‌ای به جرم  $40\text{g}$  برابر  $\frac{5\pi}{3}$  رادیان است، انرژی پتانسیل نوسان گر  $3/375\text{J}$  است. بیش‌ترین سرعت نوسان گر چند متر بر ثانیه است؟

۲۲/۵ (۴)

۱۸ (۳)

۱۵ (۲)

۱۲/۵ (۱)



$$U = 3\text{K}$$

$$E = k + U \Rightarrow E = 1.125 + 3.375 = 4.5\text{J}$$

$$k_{\max} = E = \frac{1}{2} m V_m^2 \Rightarrow 4.5 = \frac{1}{2} \times 0.04 \times V_m^2 \Rightarrow V_m = 15\text{m/s}$$

نوسانگری در مکان  $x_1 = 5\text{cm}$  از وضع تعادل دارای انرژی پتانسیل  $0/48$  ژول و انرژی جنبشی  $1/02$  ژول است. انرژی جنبشی آن در مکان  $x_2 = 4\text{cm}$  تقریباً چند ژول است؟

۰/۳۶ (۴)

۰/۲۶ (۳)

۱/۳۶ (۲)

۱/۱۹ (۱)

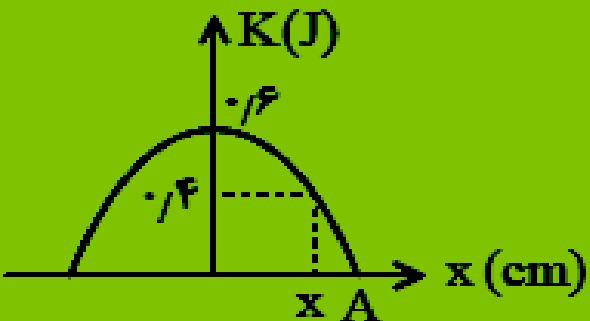
$$x_2 < x_1 \Rightarrow K_2 > K_1$$

$$E = K_1 + U_1 \Rightarrow E = 1.02 + 0.48 = 1.5\text{J}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{x_2^2}{x_1^2} \Rightarrow \frac{U_2}{0.48} = \frac{16}{25} \Rightarrow U_2 = 0.3072$$

$$K_2 = 1.5 - 0.3072 = 1.19$$

نمودار انرژی جنبشی بر حسب مکان نوسانگری مطابق شکل است. نسبت  $\frac{x}{A}$  کدام است؟



$$\frac{K}{E} = \frac{A^2 - x^2}{A^2} \Rightarrow \frac{0.4}{0.6} = \frac{A^2 - x^2}{A^2} \Rightarrow \frac{x}{A} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

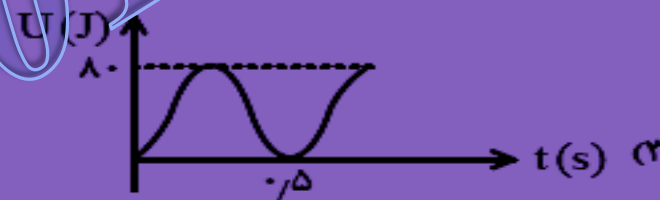
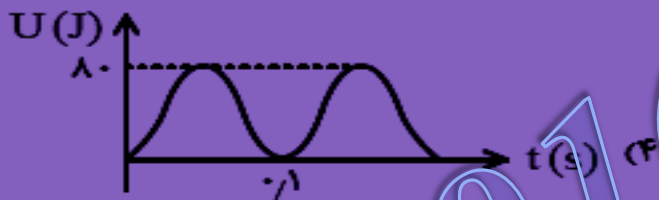
$2\sqrt{2}$  (1)

$\sqrt{2}$  (2)

$\frac{\sqrt{2}}{2}$  (3)

$\frac{\sqrt{2}}{3}$  (4)

اگر معادله‌ی تکانه - زمان هماهنگ ساده‌ای به جرم 5kg در SI بصورت  $P = 40 \cos 20\pi t$  باشد، نمودار انرژی پتانسیل بر حسب زمان کدام است؟



$$P_m = mV_m \Rightarrow 40 = 5V_m \Rightarrow V_m = 8 \text{ m/s}$$

$$20\pi = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 0.1$$

$$U_m = K_m = \frac{mV_m^2}{2} = \frac{5 \times 8^2}{2} = 160 \text{ J}$$

# آونگ ساده

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

دوره تناوب آونگ ساده

(1) رابطه نشان می دهد که دوره تناوب آونگ ساده به جرم و دامنه آن بستگی ندارد.

(2) دوره تناوب آونگ با جذر طول آونگ رابطه مستقیم و با جذر شتاب جاذبه مکان رابطه عکس

$$\frac{T'}{T} = \sqrt{\frac{L' \times g}{L \times g}}$$

(3) هر گاه دو آونگ ساده A و B را با هم به نوسان در آوریم و بعد از مدتی یکی از این دو آونگ

n نوسان کامل جلویا بیفتند و دوباره بر هم منطبق شوند زمان انطباق این دو آونگ برابر با :

$$t = \frac{nT_A T_B}{|T_A - T_B|}$$

زاویه انحراف



# نوسان واداشته: نوسانگرها می توانند با بسامدهای دیگر در اثر اعمال نیروی خارجی به نوسان در آیند که به این نوسان ها ، نوسان واداشته گویند

نوسان میرا:

هنگامی که نوسانگری را از وضع تعادل خارج کرده و به نوسان درآوریم به علت وجود نیروهای اتلافی از قبیل اصطکاک و یا مقاومت هوا دامنه ی نوسان به تدریج کاهش می یابد و دستگاه پس از چند نوسان می ایستد این نوسان را میرا گویند.

پدیده تشدید:

اگر به نوسانگری یک نیروی دوره ای اعمال شود، در صورتی که بسامد نیروی اعمال شده با بسامد نوسانگر یکسان باشد، دامنه نوسان تا مقدار بیشینه ای افزایش می یابد و از آن پس حرکت نوسانی بدون کاهش دامنه ادامه می یابد در این صورت می گوئیم پدیده تشدید رخ داده است.



مثال: آونگی در هر دقیقه ۳۰ نوسان انجام می دهد اگر طول آونگ را  $10\text{ cm}$  افزایش دهیم، در هر دقیقه

۲۰ نوسان انجام می دهد طول اولیه آونگ چند سانتی متر است.

$$t = 60(\text{s})$$

$$n_1 = 30$$

$$L_1 = ?$$

$$n_2 = 20$$

$$t = 60(\text{s})$$

$$L_2 = L_1 + 10$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\Rightarrow L_1 = 8\text{cm}$$

$$\Rightarrow \frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \Rightarrow \frac{30}{20} = \sqrt{\frac{L_1 + 10}{L_1}} \Rightarrow \frac{9}{4} = \frac{L_1 + 10}{L_1}$$

مثال: دو آونگ با دوره های ۲ و ۱.۸ ثنیه همزمان از يك نقطه شروع به نوسان مي كنند مدت زماني كه

طول مي كشد تا دو آونگ براي دهمين بار نوسان مشابهي انجام دهند چند ثنیه است؟

$$t = \frac{n T_A T_B}{|T_A - T_B|} = \frac{10 \times 2 \times 1/8}{2 - \frac{1}{8}} = 100 \text{ (s)}$$

در يك آونگ كم دامنه، اگر با ثابت نگه داشتن دامنه‌ي نوسان، طول آونگ دو برابر و جرم آن نصف شود، انرژی مکانیکی نوسان گر چند برابر مي‌شود؟

$$\frac{1}{4} \text{ (c)} \qquad \frac{1}{2} \text{ (d)} \qquad 2 \text{ (b)} \qquad \frac{1}{2} \text{ (a)}$$

$$L' = 2L \Rightarrow T' = \sqrt{2}T$$

$$\frac{E'}{E} = \left(\frac{m'}{m}\right) \left(\frac{T}{T'}\right)^2 \Rightarrow \frac{E'}{E} = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

مثال: دوره نوسان آونگ ساده ای در یک مکان معین، برابر ۲s است و در مدت 2.6 دقیقه  $n$  نوسان کامل

انجام می دهد. طول آونگ را چند درصد کاهش یا افزایش دهیم تا در همان مدت و در همان مکان،  $n-18$

نوسان کامل انجام دهد؟

الف) ۶۹ درصد - کاهش

ب) ۶۹ درصد - افزایش

ج) ۳۱ درصد - کاهش

د) ۳۱ درصد - افزایش

$$n = \frac{t}{T} = \frac{2.6 \times 60}{2} = 78$$

$$n' = n - 18 = 78 - 18 = 60$$

$$T' = \frac{t}{n'} = \frac{156}{60} = 2.6 \Rightarrow \frac{2.6}{2} = \sqrt{\frac{L'}{L}}$$

$$\Rightarrow \frac{L'}{L} = (1.3)^2 = 1.69 \Rightarrow 0.69 \text{ افزایش}$$

اگر به طول آونگ کم دامنه‌ای ۱۲۵ درصد اضافه شود، تعداد نوسان‌های آن در مدت ۴ دقیقه، ۵۰ تا کاسته

می‌شود. دوره‌ی اولیه‌ی نوسان آونگ چند ثانیه بوده است؟  $(g = \pi^2)$

$$1/4 \text{ (۴)}$$

$$1/6 \text{ (۳)}$$

$$1/8 \text{ (۲)}$$

$$2/4 \text{ (۱)}$$

$$n - n' = 50 \Rightarrow \frac{t}{2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}} - \frac{t}{2\pi \sqrt{\frac{L'}{g}}} = 50$$

$$\frac{240}{2\pi \sqrt{\frac{L}{\pi^2}}} - \frac{240}{2\pi \sqrt{\frac{2.25L}{\pi^2}}} = 50$$

$$L = 0.64 \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 1.6(s)$$

کدام گزینه درباره‌ی پدیده‌ی تشدید درست است؟

- (۱) در پدیده‌ی تشدید فاز دو نوسان گر باید یکسان باشد.
- (۲) یک نوسان گر وزنه - فنر نمی‌تواند موجب تشدید یک آونگ شود.
- (۳) دو نوسان گر وزنه - فنر در صورتی موجب تشدید هم می‌شوند که طول فنرها یکسان باشد.
- (۴) دو آونگ کم دامنه با طول متفاوت نمی‌توانند موجب تشدید هم شوند.

با توجه به رابطه آونگ ساده و رابطه بسامد با طول آونگها گزینه ۴ درست می‌باشد

اگر به یک نوسان گر یک نیروی ..... وارد شود، به طوری که بسامد نیروی ..... بسامد طبیعی نوسان گر باشد، تشدید رخ می‌دهد.

- (۱) ثابت - برابر با
- (۲) ثابت - بیش‌تر
- (۳) دوره‌ای - بیش‌تر از
- (۴) دوره‌ای - برابر با

بر اساس تعریف تشدید گزینه ۴ درست می‌باشد

اگر طول آونگی ۱۸cm کاهش یابد، دورهی حرکت آونگ ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. طول اولیه‌ی آونگ چند سانتی‌متر است؟

۲۰۰ (۴)

۱۰۰ (۳)

۲۵ (۲)

۵۰ (۱)

$$\frac{T'}{T} = \frac{\sqrt{L'}}{\sqrt{L}} \Rightarrow \frac{0.8T}{T} = \frac{\sqrt{L - 18}}{\sqrt{L}} \Rightarrow L = 50\text{cm}$$

یک آونگ ساده به طول  $L$  و دورهی ۲ ثانیه داریم. طول آونگ را چگونه تغییر دهیم تا دورهی آن ۴ ثانیه شود؟

(۲) طول آونگ را به اندازه‌ی  $4L$  افزایش دهیم.

(۴) طول آونگ را به اندازه‌ی  $2L$  کاهش دهیم.

(۱) طول آونگ را به اندازه‌ی  $2L$  کاهش دهیم.

(۳) طول آونگ را به اندازه‌ی  $4L$  افزایش دهیم.

$$\frac{T'}{T} = \frac{\sqrt{L'}}{\sqrt{L}} \Rightarrow \frac{4}{2} = \frac{\sqrt{L'}}{\sqrt{L}} \Rightarrow L' = 4L$$

$$\Delta L = 4L - L = 3L$$

موج چیست و چگونه ایجاد می شود؟

موج وسیله انتقال انرژی است بدون اینکه ماده مولد انرژی منتقل شود. موج در اثر ارتعاش ذرات در محیط ایجاد می گردد و اثر همان محیط انتشار می یابد و به هر نقطه ای که می رسند آن نقطه را با همان بسامد منبع به ارتعاش در خواهند آورد.

مهم: همه امواج از لحاظ رفتار و ویژگی هایی که دارند با هم شباهت های زیادی داشته، در حالیکه در ماهیتشان می توانند با هم تفاوت داشته باشند، می توان امواج را از لحاظ خاصیت در محیط

انتشارشان به دو دسته تقسیم نمود.



نمایش ایجاد موج در فنر بلند کشیده



امواج مکانیکی ، امواجی هستند که آنها را در محیط‌های تغییر شکل پذیر یا گشسان محدود می‌کنیم. این امواج از تغییر مکان قسمتی از یک محیط گشسان نسبت به وضعیت عادی‌اش ناشی می‌شوند که این امر موجب نوسان آن قسمت حول وضعیت تعادل می‌شود. به علت خواص گشسانی محیط ، این آشفتگی از لایه‌ای به لایه دیگر منتقل می‌شود. در نتیجه آشفتگی یا موج در محیط پیش می‌رود. از جمله امواج مکانیکی می‌توان به موج صوتی و امواج روی سطح آب

اشاره نمود

## ۲) امواج الکترومغناطیس:

این امواج در اثر حرکت شتابدار ذرات باردار بوجود می‌آیند و برای انتشار هیچ محدودیتی ندارند یعنی هم در محیط های مادی و هم در خلا منتشر می گردند و از جنس انرژی الکترومغناطیس می

باشند. مثال: امواج رادیویی و تلویزیون، نور.



مهم: محیط انتشار امواج مکانیکی باید محیط مادی باشد و هم چنین این محیط باید دارای ویژگی

مهمی، به نام کشسان بودن باشد یعنی امواج مکانیکی جهت ایجاد انتشار نیاز به محیط های

کشسان (الاستیک) دارند.

محیط کشسان:

به محیطی گفته می شود که وقتی در آن تغییر شکلی ایجاد کرده و سپس محط را به حال خود

رها کنیم نیروهای کشسانی ایجاد شده بین اجزای محیط، محیط را به حالت اول خود بر گرداند.

«مثالهایی از محیطهای کشسان جامد، مایع و گاز»

۱) اگر تیغه ی فنری را خم کرده و رها کنیم، تیغه فنری به حالت اول خود باز می گردد بنابراین تیغه فنری

محیطی کشسانی است (جامد).

۲) اگر توپی پر از باد را که بر سطح آرام استخری قرار داده، کمی بیشتر در آب فرو برده و رها کنیم، توپ به

حالت اول بر می گردد، بنابراین آب محیطی کششی است (مایع)

۳) اگر انتهای سرنگی را با دست محدود کرده و سر آن را بیرون بکشیم و سپس رها کنیم، مشاهده می گردد

که پیستون به حالت اول بر می گردد بنابراین هوای فشرده شده محیط کشسان است (گاز).

نکته: اگر یک ذره از محیط کشسان را به نوسان در آوریم، ذرات مجاور، عیناً همان حرکت را با

تأخیر زمانی انجام می دهند.

تعریف تب موج (پالس): هر گاه تغییر شکل (یا آشفتگی) در یک جزء از محیط کشسانی که در حال تعادل است، ایجاد کنیم بعلت وجود نیروی کشسانی بین اجزای محیط، آن تغییر شکل در محیط جزء به جزء منتقل می شود و در محیط پیش می رود تغییر شکل ایجاد شده در محیط را تب و انتقال تب در محیط را انتشار گویند.



تمایش ایجاد یک تب طولی در یک فنر بلند کشیده شده

نکته:

(۱) انتشار ← برای حرکت موج در محیط

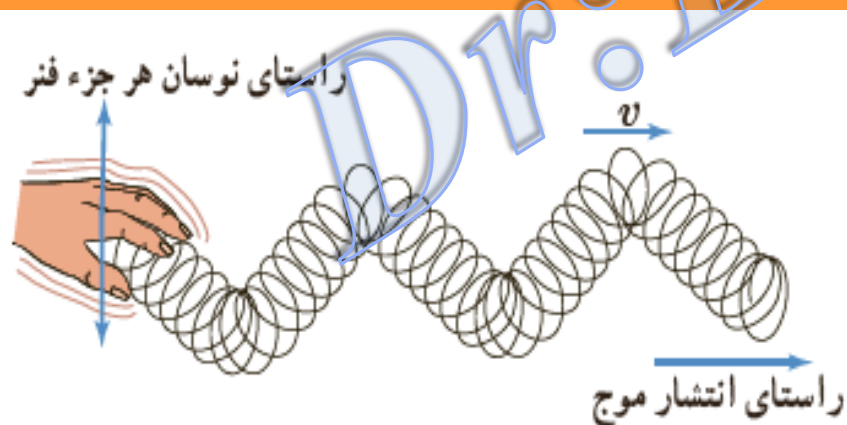
(۲) ارتعاش (نوسان) ← برای حرکت ذرات محیط در جای خود

تعریف چشمه ی موج: به نوسانگر ساده ای گفته می شود که موج تولید کرده و موج حاصل در محیط از آن دور می شود مانند دیافراگم.

نکته: هنگام انتشار موج در محیط از اتلاف انرژی صرف نظر می شود به همین دلیل هر جزء از محیط انتشار همان حرکت هماهنگ ساده چشمه ی موج را با همان دامنه، دوره و بسامد تکرار می کند.

نکته: بسامد، دوره و دامنه موج فقط به چشمه موج بستگی دارند.

امواج عرضی: اگر راستای نوسان ذره های موج عمود بر راستای انتشار موج باشد موج را عرضی گویند.

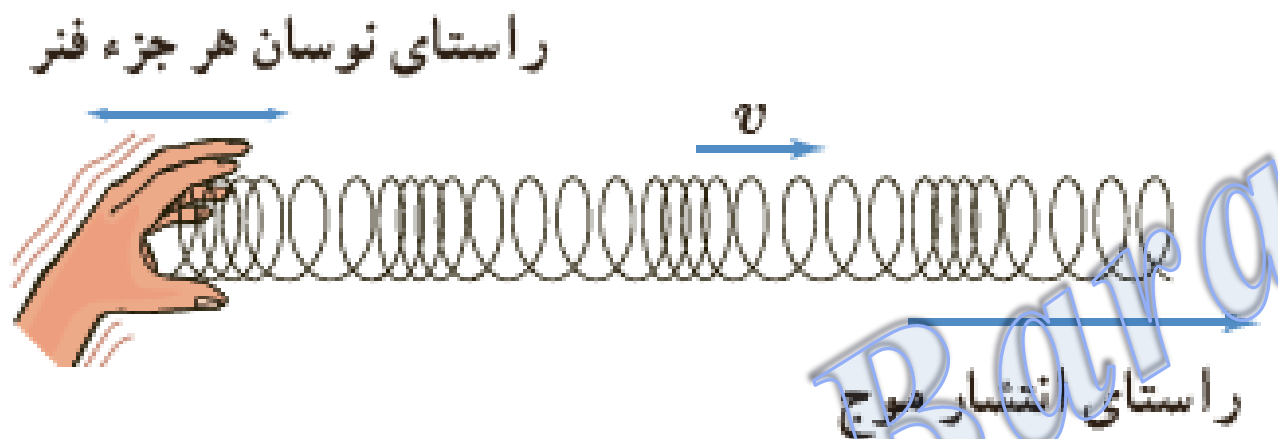


مانند موج ایجاد شده در سیم، طناب یا فنر

نکته: امواج عرضی بیشتر در جامدات و در سطح مایعات ایجاد و منتشر می گردند.

امواج طولی: اگر راستای نوسان ذره های محیط، موازی یا منطبق با راستای انتشار موج باشد موج

را طولی گویند.



نکته: امواج طولی در هر سه محیط جامد، مایع و گاز قابل تولید می باشند.

مهم: از آنجائیکه انتقال امواج مکانیکی از طریق ارتعاشات ذرات محیط انجام می پذیرد، سپی هر چه محیط چگالترا باشد (تراکم مولکولی محیط بیشتر باشد)، این انتقال سریعتر صورت گرفته، لذا سرعت انتشار موج مکانیکی بیشتر می شود. به همین دلیل سرعت انتشار موج مکانیکی در جامدات بیشتر از مایعات و در

گازها  $V > V > V$  مایعات جامدات

مایعات بیشتر از گازهاست

موج های پیش رونده: به موج های طولی و عرضی که از نقطه ای به نقطه ای دیگر حرکت کرده و انرژی را

با خود منتقل می کنند موج های پیش رونده گویند

ویژگی امواج مکانیکی

(۱) برای تولید و انتشار آن وجود یک محیط مادی و کشسان الزامی است. این موج ها در خلاء منتشر نمی شوند.

(۲) انرژی را از نقطه ای به نقطه ای دیگر منتقل می کنند.

(۳) همه ذرات محیط با همان بسامد چشمه موج به نوسان در می آیند.

(۴) با انتشار موج، ذره های محیط در اطراف وضع تعادل خود نوسان می کنند اما همراه موج منتقل نمی شوند.

# مشخصه های موج با استفاده از تشت موج

شکل زیر تشت موج را نشان می دهد که از یک تشت شیشه ای کم عمق و یک نوسان ساز تشکیل شده است.

مشاهده رفتار موج با استفاده از سایه ای است که توسط لامپ از سطح آب داخل تشت بر روی ورقه کاغذی زیر تشت تشکیل می شود. در این آزمایش پراامدگی ها و فرورفتگی های موج روی سطح آب به وضوح در سایه تشکیل شده بر روی ورقه کاغذ دیده می شوند.



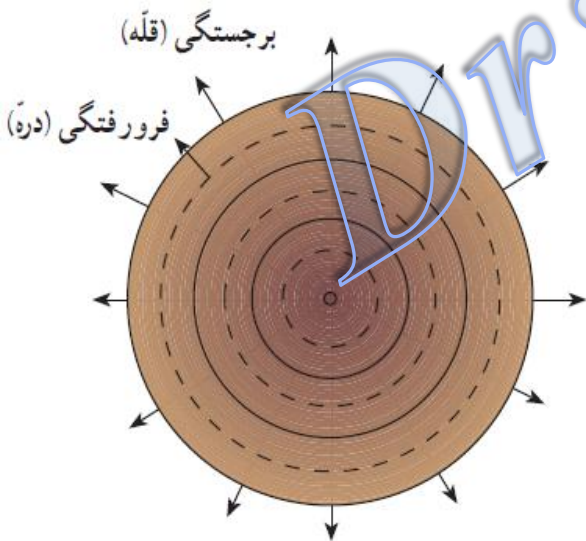
نکته:

منبع تولید موج ← تاثیر بر شکل موج، دامنه، دوره و بسامد دارد

محیط انتشار ← تاثیر بر سرعت انتشار موج دارد.

انتشار موج در دو بعد: هنگامی که با گوی کوچکی بر سطح آب ضربه وارد کنیم امواجی در سطح آب بصورت دایره های هم مرکز منتشر می شود که نمونه ای از انتشار موج در دو بعد است این دایره ها که به صورت برآمدگی ها و فرورفتگی های هستند را جبهه موج گویند. مرکز همه ی این دایره ها چشمه موج است.

جبهه موج: مکان هندسی نقطه هایی از محیط است که در آن نقطه ها تابع موج دارای فاز یکسانی است (اختلاف فاز نقطه های واقع بر یک جبهه ی موج همواره برابر صفر است).





# تعدادی دیگر از مشخصه های موج سطحی

**دامنه (A):** پیشینه فاصله یک ذره از مکان تعادل، دامنه موج نامیده می شود که همان فاصله قله یا

دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است.

**دوره تناوب (T):** مدت زمانی که هر ذره محیط یک نوسان کامل انجام می دهد دوره تناوب موج

نامیده می شود که برابر با زمانی است که چشمه موج یک نوسان کامل انجام می دهد.

**بسامد (f):** تعداد نوسان های انجام شده توسط هر ذره محیط در یک ثانیه بسامد موج نامیده

می شود که برابر با بسامد چشمه موج نیز هست. بنابراین  $f = \frac{1}{T}$

**تندی انتشار موج (v):** اگر جبهه موج در مدت  $\Delta t$  مسافت  $L$  را طی کند، تندی انتشار موج از

رابطه  $v = \frac{L}{\Delta t}$  به دست می آید.

## تندی انتشار موج

(۱) تندی انتشار موج مکانیکی در یک محیط همگن (یکنواخت) در تمام جهت‌ها برابر و مقداری ثابت است.

(۲) جابجایی موج در محیط همگن از رابطه  $L = v\Delta t$  بدست می‌آید.

(۳) تندی انتشار موج مکانیکی در یک محیط به ویژگی‌های فیزیکی آن محیط (جنس محیط، دمای محیط

و ...) بستگی دارد.

(۴) تندی انتشار موج مکانیکی به شرایط فیزیکی چشمه موج (بسام، دامنه، شکل موج و انرژی آن) بستگی

ندارد.

Dr: B. Barati

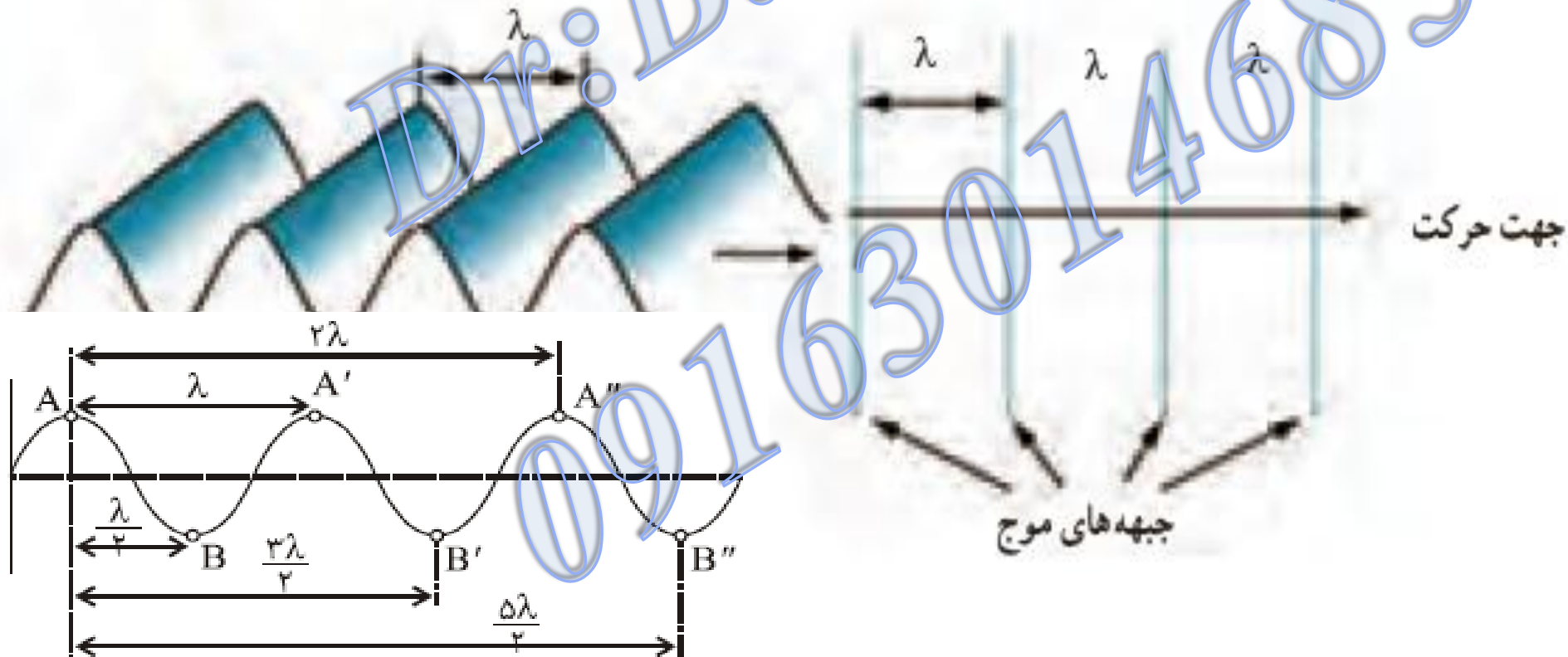
# تعریف طول موج ( $\lambda$ ):

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

۱- مسافتی که موج در مدت یک دوره تناوب طی می کند.

۲- فاصله بین دو برآمدگی متوالی یا دو فرو رفتگی متوالی را طول موج گویند.

۳- فاصله بین دو نقطه از محیط انتشار که در وضعیت ارتعاشی یکسانی قرار دارند.



امواج دایره‌ای تشکیل شده بر سطح آب تحت موج شکل زیر را در نظر بگیرید. آزمایش نشان داده است اگر گوی متحرک با دوره تناوب  $1/5$  s در تشتی به عمق  $2/5$  cm نوسان کند، فاصله بین دو برآمدگی مجاور  $5$  cm و اگر در تشتی به عمق  $3/5$  cm نوسان کند، این فاصله  $6$  cm می‌شود. تندی انتشار موج سطحی در این تشت در هر حالت چقدر است؟ از این محاسبه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



$$v_1 = \frac{\lambda_1}{T} = \frac{0/50 \text{ m}}{1/5 \text{ s}} = 0/50 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{\lambda_2}{T} = \frac{0/60 \text{ m}}{1/5 \text{ s}} = 0/60 \text{ m/s}$$

می‌توان نتیجه گرفت که تندی انتشار موج سطحی روی آب‌های کم عمق، به عمق آب که یکی از ویژگی‌های محیط انتشار موج است بستگی دارد.

مثال: سر طنبلی را با بسامد زاویه ای  $100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  به نوسان در می آوریم. اگر تندی انتشار موج در طناب

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow 100\pi = 2\pi f \Rightarrow f = 50\text{Hz}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{40}{50} = 0.8(\text{m})$$

$40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  باشد طول موج ایجاد شده چند متر است؟

مثال: معادله ی نوسان یک چشمه ی موج در  $x = 0.2 \sin(40\pi t)$  است با  $10$  نوسان کامل چشمه،

موج  $15\text{m}$  پیش روی می کند تندی انتشار موج چند  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  است؟

الف) ۶۰

ب) ۳۰

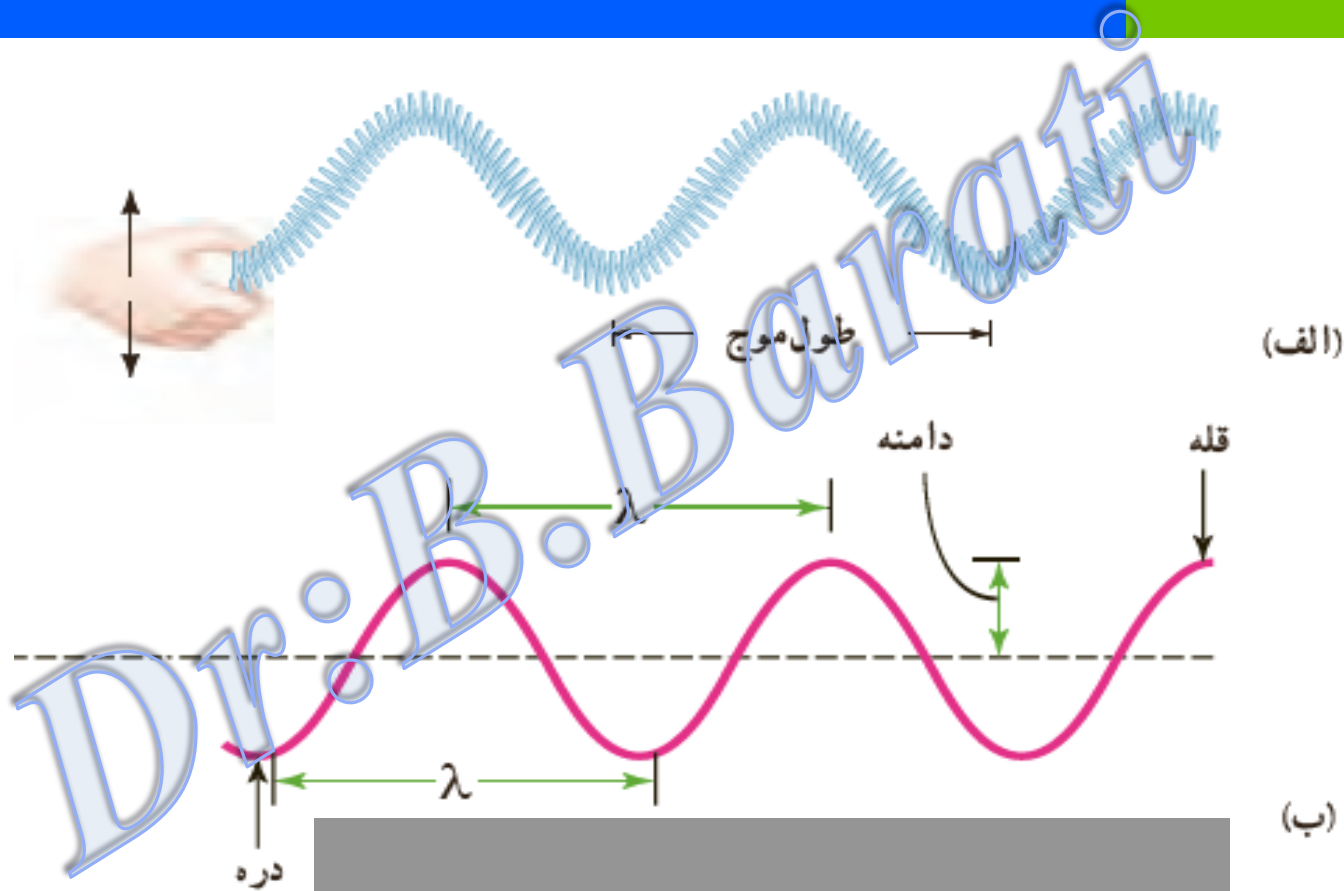
ج) ۱۵

د) ۷.۵

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow 40\pi = 2\pi f \Rightarrow f = 20\text{Hz} \quad , \quad f = \frac{n}{t} \Rightarrow 20 = \frac{10}{t} \Rightarrow t = 0.5(\text{s})$$

$$\Delta x = v\Delta t \Rightarrow 15 = v \times 0.5 \Rightarrow v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

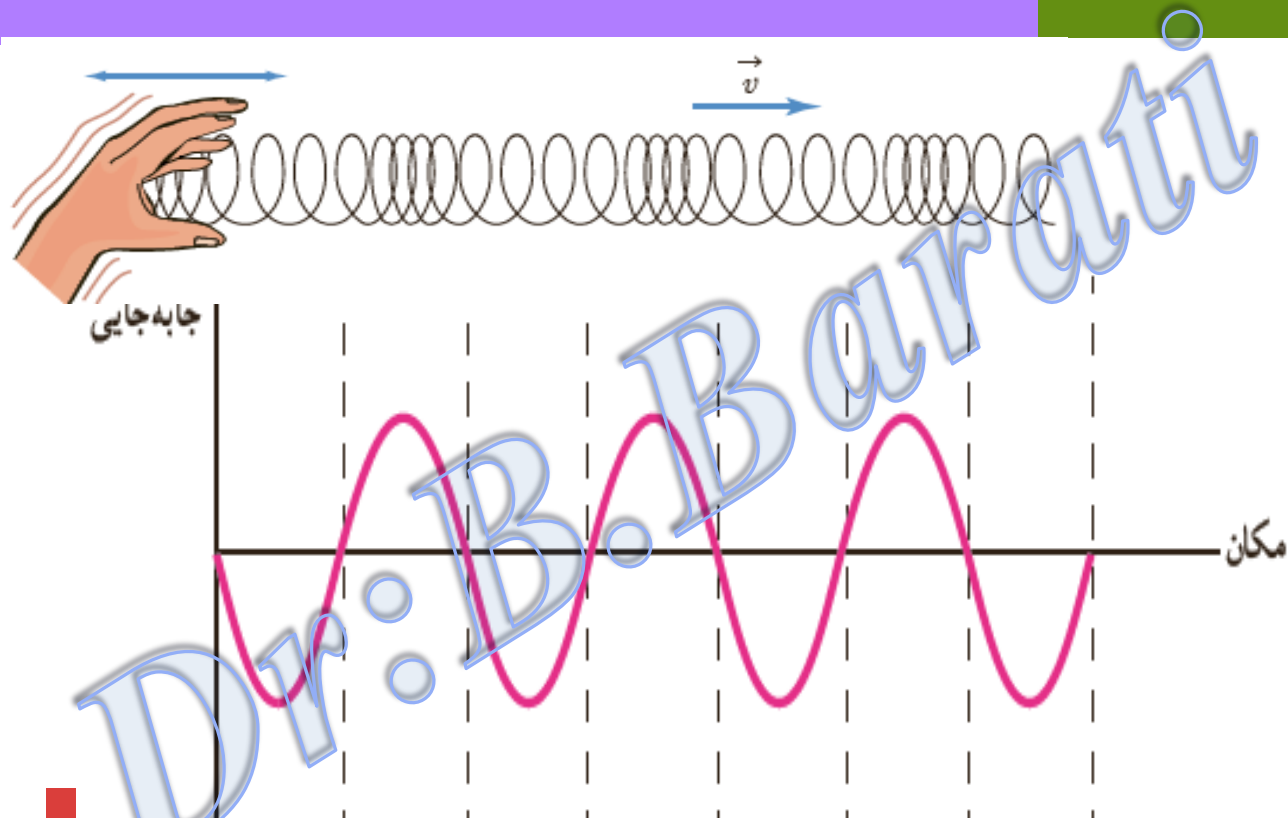
# مشخصه های موج عرضی موج عرضی در فترها و طناب ها از طریق قله ها و دره ها شناخته می شود.



(الف) یک موج عرضی در فتر کشیده شده و (ب) مدل سینوسی برای این موج

# مشخصه های موج طولی

موج طولی در فضا از طریق تراکم و انبساط ها شناخته می شود.



الف) تصویری لحظه ای از ایجاد نواحی جمع شدگی و بازشدگی در طول یک فنر بلند کشیده هنگام انتشار موج طولی سینوسی در فنر ب) نمودار جابه جایی - مکان برای موج ایجاد شده در فنر

نکته قابل توجه: تندی انتشار موج طولی مانند موج عرضی به طول موج و دوره تناوب بستگی دارد ( $v = \frac{\lambda}{T}$ ) اما به این معنا نیست که در یک جسم تندی انتشار هر دو نوع موج برابر می باشد بلکه برای امواج مکانیکی، تندی انتشار امواج طولی در یک محیط جامد بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط جامد است.

تندی انتشار موج عرضی در طناب یا تار:

تندی انتشار موج عرضی در طناب (یا در تار) یکنواختی به جرم  $m$  و طول  $L$  از رابطه زیر بدست می آید.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow \text{تندی انتشار } v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$$

$$\mu \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) = \frac{m(\text{kg})}{L(\text{m})}$$



# نکته: رابطه تندی انتشار موج عرضی بر حسب شعاع و چگالی طناب

$$m = \rho V$$
$$V = AL = \pi r^2 L \Rightarrow v = \sqrt{\frac{FL}{\rho \pi r^2 L}} \Rightarrow v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{F}{\rho \pi}}$$

فتری به جرم  $0.60 \text{ kg}$  و طول  $4.0 \text{ m}$  را با نیروی  $1/2 \text{ N}$  می کشیم. الف) تندی انتشار موج در این فنر چقدر است؟ ب) سر آزاد فنر را با چه بسامدی تکان دهیم تا طول موج ایجاد شده در فنر  $1.0 \text{ m}$  شود؟

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0.60 \text{ kg}}{4.0 \text{ m}} = 0.15 \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{1/2 \text{ N}}{0.15 \text{ kg/m}}} = 2.83 \text{ m/s} \approx 2.8 \text{ m/s}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2.83 \text{ m/s}}{1.0 \text{ m}} = 2.83 \text{ Hz} \approx 2.8 \text{ Hz}$$

مثال: نیروی کشش در یک تار  $8 \text{ (N)}$  و جرم یکای طول آن  $0.02 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  می باشد.

(الف) اگر در طول تار موج عرض با بسامد  $40 \text{ Hz}$  منتشر شود، طول موج در تار چند  $\text{cm}$  است.

(ب) اگر نیروی کشش را نصف کنیم، بسامد و طول موج در تار چه تغییری می کنند؟

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{8}{0.02}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow \lambda = \frac{V}{f} = \frac{20}{40} = 0.5 \text{m} = 50 \text{cm} \text{ (الف)}$$

(ب) با تغییر نیروی کشش، سرعت انتشار در تار تغییر می کند اما بسامد موج که از ویژگی های چشمه ی

$$f_1 = f_2 = 40 \text{ Hz} \quad \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{4}{8}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow$$

$$V_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} V_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 20 = 10\sqrt{2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{50} = \frac{10\sqrt{2}}{20} \Rightarrow \lambda_2 = 25\sqrt{2} \text{cm}$$

موج است ثابت می ماند.

مثال: دو سیم هم جنس و هم طول با نیروی کشش یکسان در اختیار داریم اگر سطح مقطع سیم اول  $A_1$

و سطح مقطع سیم دوم  $A_2 = 16A_1$  باشد نسبت تندی موج در سیم اول به تندی موج در سیم دوم

کدام است؟

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{16A_1}{A_1}} \Rightarrow v_2 = 4v_1$$

مثال: مساحت مقطع یک سیم  $10^{-6} \text{ m}^2$  و چگالی آن  $6.4 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$  است اگر این سیم با نیروی  $4 \text{ N}$  کشیده

شود تندی انتشار امواج عرضی در آن چند  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  است؟

(د)  $5 \times 10^3$

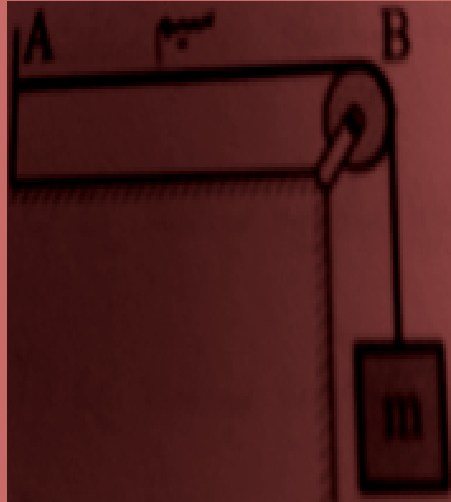
(ج) ۲۵۰

(ب) ۵۰

(الف) ۲۵

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \sqrt{\frac{4}{6.4 \times 10^3 \times 10^{-6}}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

مثال: در شکل مقابل دمای محیط را افزایش می دهیم تا سیم و جسم  $M$  منبسط شوند سرعت انتشار موج



عرضی در طول سیم  $(AB)$  چه تغییری می کند (انبساط سطح مقطع سیم ناچیز)

الف) کم می شود. ب) زیاد می شود.

ج) تغییر نمی کند. د) بستگی به ضریب انبساط سیم و جسم  $m$  دارد.

حل: با افزایش دما جرم واحد طول سیم  $(\mu)$  کاهش می یابد  $(\mu = \frac{m}{L})$  اما وزن جسم  $M$  که برابر با

نیروی کشش سیم است دست نخورده باقی می ماند پس طبق رابطه  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  با ثابت ماندن  $F$  و کاهش

$\mu$ ،  $v$  افزایش می یابد.

مثال: تندی انتشار یک موج عرضی در یک تار،  $100 \frac{m}{s}$  است نیروی کشش این تار را چند درصد

افزایش دهیم تا تندی انتشار موج در آن به  $110 \frac{m}{s}$  برسد؟

(د) ۲۱

(ج)  $\sqrt{21}$

(ب) ۱۰

(الف)  $\sqrt{10}$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \Rightarrow \frac{110}{100} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{110}{100}\right)^2 \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{121}{100}$$

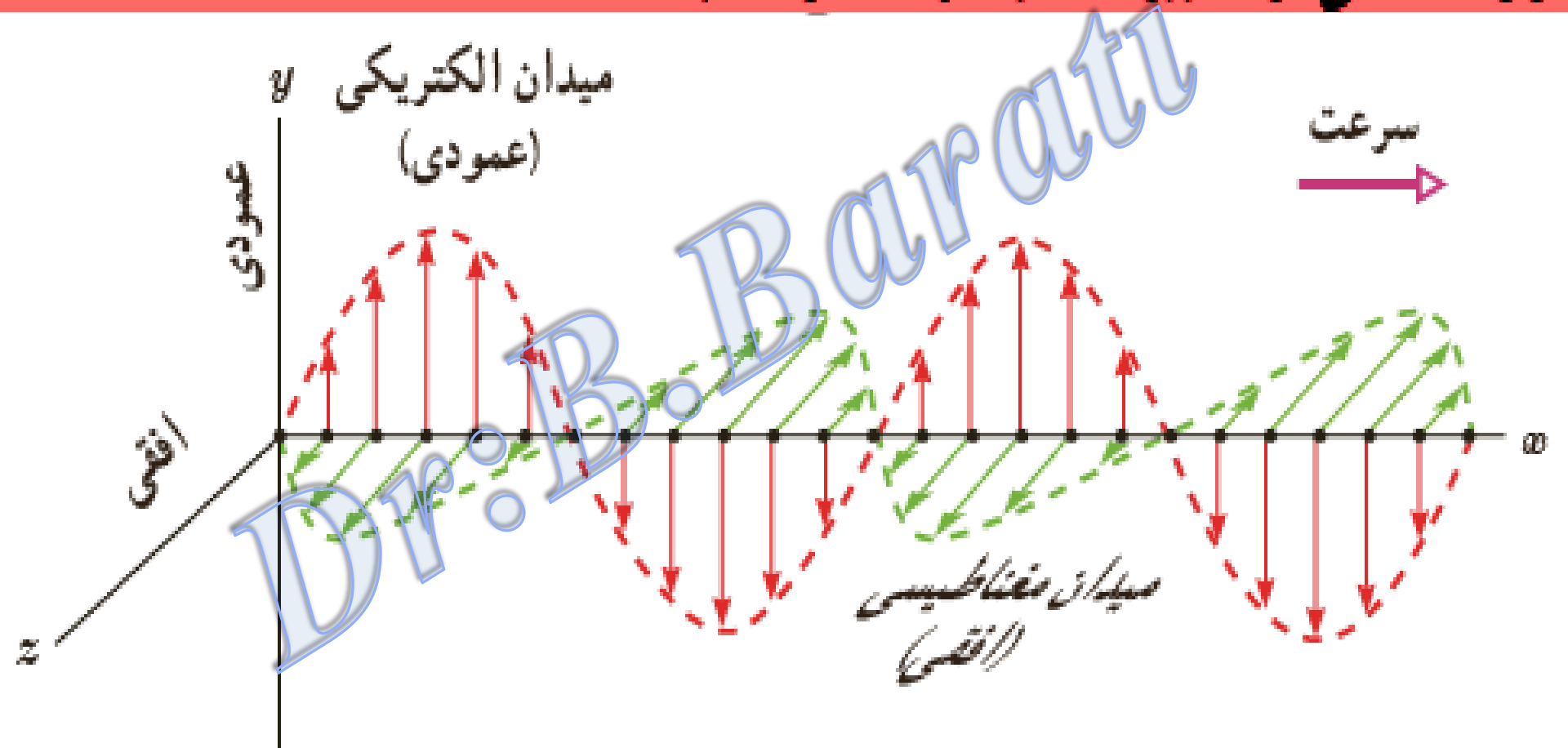
باید ۰.۲۱ افزایش یابد. ۱.۲۱

**انتقال انرژی در موج عرضی:** هر موجی حامل انرژی است. وقتی در یک ریسمان یا فنر کشیده موجی عرضی را ایجاد می‌کنیم، در واقع، انرژی را برای ایجاد موج در ریسمان فراهم کرده‌ایم. با انتشار موج، این انرژی به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در ریسمان انتقال می‌یابد. انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل لازم برای حرکت و کشیدگی هر جزء ریسمان یا فنر را مشخصی تأمین می‌کند که سر ریسمان یا فنر را دائماً به نوسان درمی‌آورد. ثابت می‌شود مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی برای همه انواع امواج مکانیکی با مربع دامنه ( $A^2$ ) و نیز مربع بسامد ( $f^2$ ) موج متناسب است.

یادآوری از فیزیک سال دوم: در کتاب فیزیک آموختیم که بار الکتریکی، میدان الکتریکی ایجاد می‌کند و جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. اگر بارهای الکتریکی ساکن باشند، میدان الکتریکی حاصل از آنها با زمان تغییر نمی‌کند. به همین ترتیب اگر جریان الکتریکی ثابت باشد، میدان مغناطیسی حاصل از آن ثابت و بدون تغییر می‌شود. امواج الکترومغناطیسی از رابطه متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به وجود می‌آیند. یعنی هر تغییری در میدان الکتریکی در هر نقطه شرح مختصری بر نحوه تولید امواج الکترومغناطیس: امواج الکترومغناطیسی از رابطه متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به وجود می‌آیند. یعنی هر تغییری در میدان الکتریکی در هر نقطه از فضا، میدان مغناطیسی متغیری ایجاد می‌کند و این میدان مغناطیسی متغیر، خود میدان الکتریکی متغیری به وجود می‌آورد. این رابطه متقابل میدان‌ها سبب انتقال نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از یک نقطه فضا به نقاط دیگر و یا همان انتشار موج الکترومغناطیسی می‌شود. ایجاد

ماکسول از دو پدیده (متغیر  $\vec{E} \Rightarrow \vec{B}$  متغیر) نتیجه گرفت که امواج E-M باید

لزوما ناشی از تغییرات میدانها E و B باشد

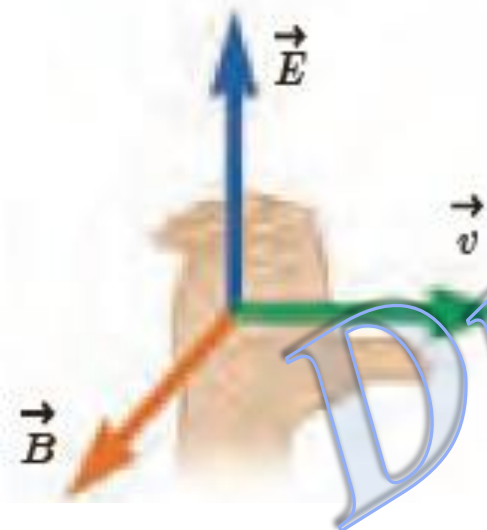


## چند مشخصه بارز امواج E-M

۱- میدان الکتریکی  $\vec{E}$  همواره عمود بر میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  است.

۲- میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی  $\vec{E}$  و  $\vec{B}$  همواره بر جهت حرکت موج عمودند و در نتیجه موج الکترومغناطیسی، یک موج عرضی است.

۳- میدان‌ها با بسامد یکسان و همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند.



جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را می‌توان مطابق شکل ریز از قاعده دست راست

تعیین کرد.

نکته: امواج E-M نیز مانند امواج مکانیکی در زمان و مکان تغییر می‌کنند ولی تفاوت آنها این

است که در امواج مکانیکی ذره‌های تشکیل دهنده‌ی محیط نوسان می‌کنند و در امواج

الکترومغناطیسی، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در هر نقطه از فضا بطور نوسانی تغییر می

کنند یعنی امواج E-M برای انتشار خود احتیاج محیط مادی ندارند.



سرعت انتشار امواج E-M: میدان های E و B حاصل از جریان نوسانی در یک آنتن بطور هم زمان به تمام

نقاط نمی رسد بلکه با سرعت مشخص منتشر می شوند. ابتدا این میدان ها در نقاط نزدیک و سپس به نقاط

دورتر می رسند. ماکسول نشان داد که سرعت انتشار امواج E-M در خلا از رابطه  $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  بدست می آید

مثال: دامنه ی میدان الکتریکی و مغناطیسی یک موج E-M به ترتیب  $4000 \frac{V}{m}$  و  $10^{-5} T$  است

بیشینه نیرویی که این موج می تواند به یک بار الکتریکی  $1mc$  که با سرعت  $4 \times 10^6 m/s$  در

راستای انتشار موج در حرکت است وارد کند چند نیوتنی می باشد.

$$F_E = qE_{\max} = 10^{-3} \times 4000 = 4N$$

$$\Rightarrow F_T = F_E + F_B = 4.04(N)$$

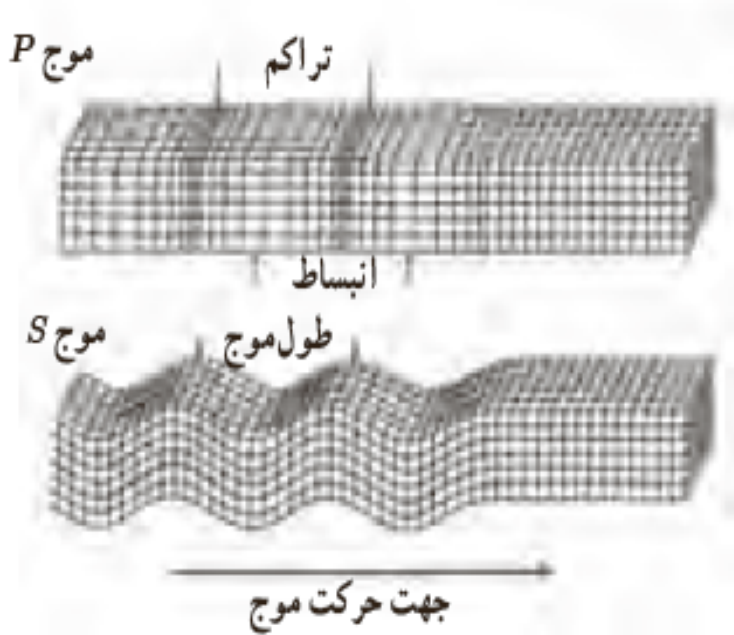
$$F_B = qvB \sin 90 = 10^{-3} \times 4 \times 10^6 \times 10^{-5} = 0.04$$

نکته: امواج E-M، انرژی را نه بصورت انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل نرات محیط، بلکه بصورت انرژی میدان های E و B منتقل می کنند

# طیف امواج الکترومغناطیسی:

این طیف شامل امواج رادیویی، میکروموج، فرسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای X و پرتوهای گاما است، که از کمترین بسامد تا بیشترین بسامد گسترده شده‌اند (شکل زیر). تمام این امواج بدرغم تفاوت فراوان در روش‌های تولید و کاربردهای آنها، امواجی الکترومغناطیسی هستند و همگی با تندی نور در خلأ حرکت می‌کنند و هیچ گسستگی‌ای در این طیف وجود ندارد.





امواج لرزه‌ای<sup>۱</sup> موج‌های مکانیکی‌ای هستند که از لایه‌های زمین عبور می‌کنند. یکی از منشأهای مهم امواج لرزه‌ای، زمین‌لرزه‌ها هستند. دو نوع از امواج لرزه‌ای، امواج اولیه<sup>۲</sup> P و امواج ثانویه<sup>۳</sup> S هستند. امواج P، امواجی طولی و امواج S، امواجی عرضی هستند. معمولاً تندی موج‌های P در حدود ۸/۰ km/s و تندی موج‌های S، در حدود ۴/۵ km/s است. یک دستگاه لرزه‌نگار<sup>۴</sup> موج‌های P و S حاصل از یک زمین‌لرزه را ثبت می‌کند. فرض کنید نخستین امواج P، ۳/۰ دقیقه پیش از نخستین امواج S دریافت شوند.

اگر این موج‌ها روی خط راستی حرکت کنند، زمین‌لرزه در چه فاصله‌ای از محل لرزه‌نگار رخ داده است؟

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v_s} - \frac{\Delta x}{v_p} = \frac{(v_p - v_s)\Delta x}{v_s v_p}$$

$$\Delta x = \frac{v_s v_p}{v_p - v_s} \Delta t = \frac{(4/5 \text{ km/s})(8/0 \text{ km/s})}{(8/0 \text{ km/s}) - (4/5 \text{ km/s})} (3/0 \times 60 \text{ s}) = 1/9 \times 10^3 \text{ km}$$

# موج صوتی :

صوت یک نوع موج مکانیکی طولی است که توسط جسم مرتعش (چشمه صوت) مانند سیم گیتار،

تارهای صوتی حنجره انسان، دیافراگم، و یا پوسته های مرتعش مانند صفحه مرتعش یک بلند

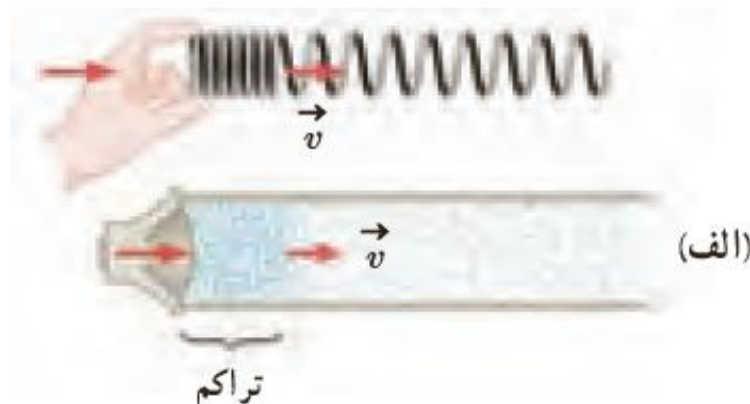
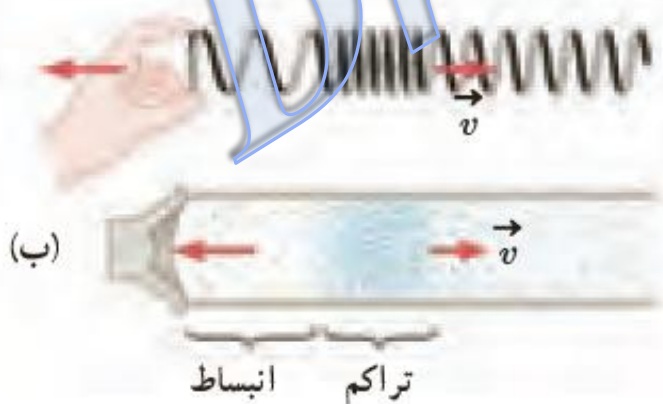
گویند تولید می شود.

۱) وقتی یک جسم مرتعش می شود معمولاً صوت ایجاد شده در تمام جهات منتشر می شود.

۲) صوت فقط در محیط های مادی مانند گاز، مایع، یا جامد می تواند ایجاد و منتشر شود.

۳) امواج صوتی در مقایسه با امواج طولی تشکیل شده در فنر، از مجموعه ای از تراکم و انبساط ها تشکیل شده اند.

## نکات لازم



## تندی انتشار صوت:

چون موج صوتی از نوع موج های مکانیکی است پس تندی انتشار آن به ویژگی های محیط انتشار مانند چگالی، فشار، دما، جرم مولکولی (مولی) و حالت محیط بستگی دارد، در نتیجه تندی صوت در جامدات بیشتر از مایعات و در مایعات بیشتر از گازها است یعنی هر اندازه ماده متراکم تر باشد تندی انتشار صوت نیز بیشتر است زیرا هر چه مولکول ها بهم نزدیک تر باشند انتقال انرژی از ذره ای به ذره ای دیگر در زمان کمتری صورت می گیرد.

مثال: به یک سر میله فلزی با طول ۶۰۰ متر ضربه ای وارد می شود و شنونده ای که در انتهای دیگر میله قرار دارد دو صوت به فاصله ی زمانی ۱.7s می شنود. هر کدام سرعت انتشار صوت در هوا  $300 \frac{m}{s}$  باشد سرعت در میله چند  $\frac{m}{s}$  است؟

(د) ۲۰۰۰

(ج) ۵۱۰

(ب) ۶۰۰۰

(الف) ۱۰۰

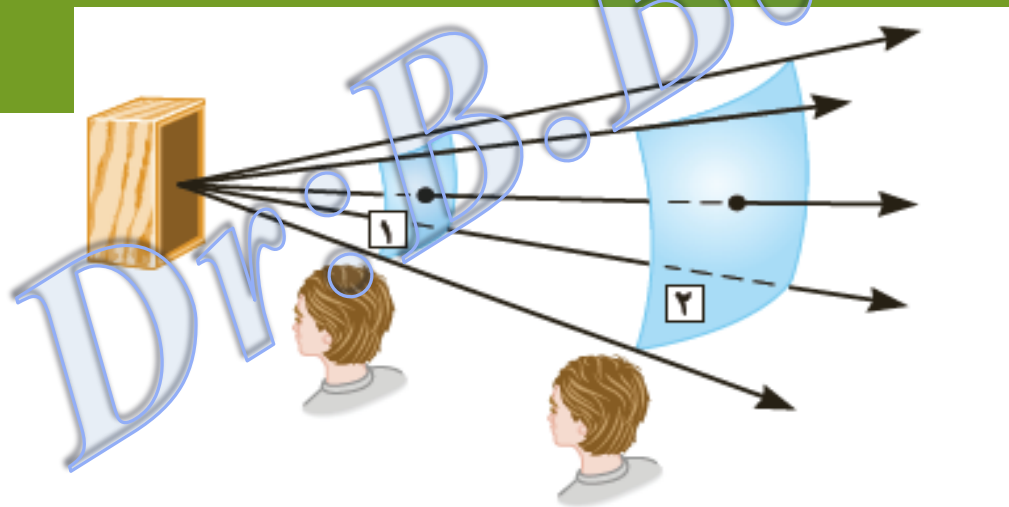
$$V_{\text{میله}} > V_{\text{هوا}} \Rightarrow t_{\text{میله}} < t_{\text{هوا}}$$

$$\Delta t = t_{\text{هوا}} - t_{\text{میله}} \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{V_{\text{هوا}}} - \frac{L}{V_{\text{میله}}} \Rightarrow 1.7 = \frac{600}{300} - \frac{600}{V_{\text{میله}}} \Rightarrow V_{\text{میله}} = 2000 \frac{m}{s}$$

شخصی با چکش به انتهای میله باریک بلندی ضربه‌ای می‌زند. تندی صوت در این میله ۱۵ برابر تندی صوت در هوا است. شخص دیگری که گوش خود را نزدیک به انتهای دیگر میله گذاشته است، دو صدا را که یکی از میله می‌آید و دیگری از هوای اطراف میله، با اختلاف زمانی ۲/۱۰۰ s می‌شنود. اگر تندی صوت در هوا  $340 \text{ m/s}$  باشد، طول میله چقدر است؟

Dr: B. Barati

انتقال انرژی از طریق امواج صوتی: انتشار صوت از هر چشمه صوتی همراه با انتقال پی در پی انرژی از ناحیه‌ای از محیط به ناحیه‌ای دیگر از آن است. در واقع چشمه صوت، این انرژی را با به حرکت درآوردن لایه‌ای از محیط که در تماس مستقیم با چشمه است به محیط می‌دهد. انرژی از این لایه به لایه بعدی و از آنجا به لایه‌های بعدتر منتقل و در تمام جهت‌ها منتشر می‌شود.



**نمایش انتقال انرژی:** با انتشار صوت از چشمه، انرژی به طور عمود، نخست از سطح ۱ و سپس از سطح ۲ که مساحت بیشتری دارد، می‌گذرد.



شدت صوت : شدت یک موج صوتی ( $I$ ) در یک سطح، برابر با آهنگ متوسط انرژی ای

است که توسط موج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می رسد یا از آن عبور

می کند

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

آهنگ متوسط انتقال انرژی

مساحت

یکای شدت صوت، وات بر متر مربع ( $W/m^2$ ) است.

عوامل موثر بر شدت صوت :

(۱) دامنه صوت  $I \propto A^2$

(۲) بسامد صوت  $I \propto f^2$

(۳) فاصله شنونده از منبع صوت  $I \propto \frac{1}{d^2}$

(۴) جنس محیط انتشار صوت



تراز شدت صوت (B): لگاریتم (در پایه ده) نسبت شدت آن صوت به شدت صوت مبنا را تراز شدت

$$B = K \log \frac{I}{I_0}$$

$$K = 1b \quad \text{یا} \quad K = 10db$$

صوت می گویند.

$$B_2 - B_1 = K \log \frac{I_2}{I_1}$$

نکته: رابطه تغییر تراز شدت صوت

مثال: تراز شدت صوت حد پایین شنوایی و حد بالای شنوایی را بدست آورید.

$$B = 10 \log \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 0$$

حد پایین شنوایی

$$B = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \log 10^{12} = 120db$$

حد بالای شنوایی

مثال: شخصی در فاصله ی ۴ متری یک چشمه صوتی با توان 19.2 میلی وات ایستاده است اگر ۲۰٪ انرژی صوتی توسط هوا جذب شود تراز شدت صوت برای این شخص چند دسی بل است؟

$$\pi = 3 \quad \log 2 = 0.3$$

۸۵ (د)

۷۹ (ج)

۷۳ (ب)

۶۳ (الف)

$$I = \frac{0.8P}{4\pi r^2} = \frac{0.8 \times 19.2 \times 10^{-3}}{4 \times 3 \times 16} = 8 \times 10^{-5} \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{8 \times 10^{-5}}{10^{-12}} = 10 \log 8 \times 10^7 = 10(3 \log 2 + 7)$$

$$B = 79(\text{db})$$

مثال: در فاصله 50 m از چشمه ی صوتی تراز شدت صوت 40 db است اگر از اتلاف انرژی صوتی

چشم پوشی شود در چه فاصله ای از چشمه (بر حسب متر) صوت را به سختی می توان شنید.

۵۰۰۰۰ (د)

۱۰۰۰۰ (ج)

۵۰۰ (ب)

۲۰۰۰ (الف)

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 40 = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^4 \Rightarrow I = 10^4 I_0$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \Rightarrow \frac{I_0}{10^4 I_0} = \left( \frac{50}{r_2} \right)^2 \Rightarrow r_2 = 50000$$

مثال: اگر فاصله از یک چشمه صوت ۲۵ برابر شود تراز شدت صوت چند دسی بل کم می شود

$$(\log 5 = 0.7)$$

۳۵ (د)

۲۸ (ج)

۱۴ (ب)

۵ (الف)

$$B_2 - B_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow B_2 - B_1 = 10 \log \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = 20 \log \frac{1}{25} = 40(-\log 5) = -28$$

منفی، نشانه کاهش است

مثال: شنونده ای به فاصله  $d_A$  از منبع صوتی A و به فاصله  $d_B$  از منبع صوتی B واقع است دو منبع صوت های هم دامنه و هم بسامد تولید می کند اگر برای شنونده صوت منبع B به اندازه  $40 \text{ db}$  بلندتر

$$B_B = 40 + B_A \Rightarrow B_B - B_A = 40 \Rightarrow B_B - B_A = K \log \frac{I_B}{I_A}$$

باشد  $\frac{d_B}{d_A}$  چقدر است؟

$$40 = 10 \log \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^2 \Rightarrow 4 = 2 \log \frac{d_A}{d_B} \Rightarrow 2 = \log \left(\frac{d_A}{d_B}\right)$$

$$10^2 = \frac{d_A}{d_B} \Rightarrow \frac{d_B}{d_A} = 10^{-2}$$

مثال: در فاصله معین از یک چشمه ی صوت، تراز شدت صوت 60db است در مدت 10 ثانیه چقدر

انرژی از مساحت  $2m^2$  می گذرد ( $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ )

۵۰Kj

۴۰j (ج)

۶۰mj (ب)

۲۰  $\mu$ j (الف)

$$B = K \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 60 = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow 6 = \log \frac{I}{10^{-12}}$$

$$10^6 = \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow I = 10^6 \times 10^{-12} = 10^{-6} \frac{W}{m^2} \Rightarrow I = \frac{A}{At} \Rightarrow 10^{-6} = \frac{E}{2 \times 10}$$

$$E = 20 \times 10^{-6} j = 20 \mu j$$

مثال: تراز شدت صوتی 15 دسی بل است شدت این صوت چند برابر شدت صوت مبدا

است ( $\log 2 = 0.3$ )

۲۷ (د)

۳۲ (ج)

۳۰ (ب)

۵۰ (الف)

$$B = K \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 15 = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 5 \times 0.3 = \log \frac{I}{I_0}$$

$$5 \log 2 = \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \log 2^5 = \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 2^5 = 32$$

مثال: در فاصله ی ۵ متری از یک منبع صوت نقطه ای شکل، صوت با شدت معینی شنیده تر می شود چند متر دیگر از منبع صوتی در همان راستای اولیه دور شویم تا ۹ بار ضعیف تر از محل اول شنیده می شود؟

۵ (د)

۳۰ (ج)

۳۰ (ب)

۱۰ (الف)

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{\frac{1}{3} I_1}{I_1} = \left(\frac{5}{5+x}\right)^2 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{3} = \frac{5}{5+x} \Rightarrow x = 10(m)$$

مثال: اگر شدت صوتی ۳ برابر شود تراز شدت آن نیز ۳ برابر می شود شدت اولیه ی این صوت چند

برابر صوت مبنا بوده است.

$$\begin{cases} B = \log \frac{I}{I_0} \\ 3B = \log \frac{3I}{I_0} \end{cases} \Rightarrow 3 \log \frac{I}{I_0} = \log \frac{3I}{I_0} \Rightarrow \log \left(\frac{I}{I_0}\right)^3 = \log 3 \frac{I}{I_0}$$

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)^3 = 3 \frac{I}{I_0} \Rightarrow \left(\frac{I}{I_0}\right)^2 = 3 \Rightarrow \frac{I}{I_0} = \sqrt{3}$$

مثال: برای آنکه تراز شدت صوتی ۶ دسی بل افزایش یابد، شدت صوت باید چند برابر شود؟

$$\log 2 = 0.3$$

۲ (د)

۶ (ج)

۹ (ب)

۴ (الف)

$$B_2 - B_1 = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 6 = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 0.6 = \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 2 \times 0.3 = \log \frac{I}{I_0}$$

$$2 \log 2 = \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \log 2^2 = \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 4$$

مثال: تراز شدت دو صوت ۱۰ و ۶۰ دسی بل است. توان صوت منبع دوم به منبع اول چقدر است؟

$$B_2 - B_1 = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow 60 - 10 = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow 50 = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^5$$

مثال: شنونده ای که در فاصله ی ۸ متری یک منبع صوت قرار دارد، چند متر به منبع صوت نزدیک

شود تا منبع صوت را با تراز شدت ۱۲ db بیشتر از حالت قبل احساس کند.  $\log 2 = 0.3$

(د) ۲

(ج) ۴/۵

(ب) ۶

(الف) ۷/۵

$$\Delta B = K \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow 12 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow 1.2 = \log \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

$$4 \times 0.3 = \log \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \Rightarrow 1.2 = \log \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2$$

$$\log 2^4 = \log \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \Rightarrow 16 = \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 \Rightarrow \frac{d_1}{d_2} = 4$$

$$d_1 = 4d_2 \Rightarrow 8 = 4d_2 \Rightarrow d_2 = 2m \Rightarrow \Delta d = 8 - 2 = 6m$$

مثال: اگر شدت صوت  $2\sqrt{10}$  برابر شود تراز شدت صوت چگونه تغییر می کند. ( $\log 2 = 0.3$ )

(د) 40db افزایش

(ج) 8db افزایش

(ب) ۸ برابر

(الف) ۴۰ برابر

$$\Delta B = K \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log \frac{2\sqrt{10}I_1}{I_1} = 10 \log 2\sqrt{10} \Rightarrow \Delta B = 10(\log 2 + \log \sqrt{10})$$

$$\Delta B = 10(0.3 + \log 10^{\frac{1}{2}}) = 10(0.3 + \frac{1}{2} \log 10) = 10(0.3 + 0.5) = 8db$$



مثال: تراز شدت صوت در خیابانی ۵۰۰ db و مساحت پنجره ای که به این خیابان باز می شود  $۶ \text{ m}^2$  است اگر تراز شدت صوت در سطح پنجره ، با خیابان یکسان فرض شود صوت با چه توانی بر

حساب میکرووات از پنجره وارد خانه می شود. ( $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$ )

۶۰۰ (د)

۳۰۰ (ج)

۰٫۶ (ب)

۰٫۳ (الف)

$$B = k \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow 50 = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow 5 = \log \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow 10^5 = \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow$$

$$I = 10^{-7} \frac{\text{w}}{\text{m}^2} \quad I = \frac{P}{A} \Rightarrow P = IA = 10^{-7} \times 6 = 0.6 \times 10^{-6} \text{ w} = 0.6 \mu\text{w}$$

مثال: اگر دامنه صوتی را ۴ برابر کنیم برابر یک شنونده ی معین ، تراز شدت صوت 1.3 برابر می

شود در این حالت تراز شدت صوت برای آن شنونده به چند دسی بل می رسد  $\log 2 = 0.3$

۵۲ (د)

۴۰ (ج)

۳۲ (ب)

۱۲ (الف)

$$\Delta B = 10 \log \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \Rightarrow 1.3B_1 - B_1 = 20 \log \frac{4A_1}{A_1} \Rightarrow 0.3B_1 = 20 \log \log 2^2$$

$$\log 2B_1 = 40 \log \log 2$$

$$\Rightarrow B_1 = 40 \Rightarrow B_2 = 1.3 \times 40 = 52 \text{ db}$$

بیان **تن** موسیقی: وقتی دیپازونی را با ضربه‌ای به ارتعاش وامی داریم، دیپازون نوسان‌هایی انجام می‌دهد که به دلیل میرایی کم، به حرکت هماهنگ ساده نزدیک است. به صوت حاصل از چنین چشمه‌هایی **تن** موسیقی یا به اختصار **تن** گفته می‌شود.

نکته قابل توجه: با شنیدن **تن** موسیقی، دو ویژگی ارتفاع و بلندی صوت های موسیقی را می‌توان از هم متمایز ساخت.

ارتفاع و بلندی هر دو به ادراک شنوایی ما مربوط می‌شوند.

ارتفاع، بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند؛ مثلاً اگر چند دیپازون با بسامدهای مختلف به‌طور یکسان نواخته شوند بسامد آنها را می‌توان از کمترین تا بیشترین مقدار تشخیص داد.

بلندی، شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند. اگر یک دیپازون با بسامد مشخص را با ضربه‌هایی متفاوت به ارتعاش واداریم، با آنکه بسامد صدایی که می‌شنویم تغییر نمی‌کند، اما صداهایی با بلندی متفاوت را حس می‌کنیم که این به شدت ضربه‌ها بستگی دارد. بلندی متفاوت با شدت است.

آشنایی با

شدت را می توان با یک آشکارساز اندازه گرفت، در حالی که بلندی چیزی است که شما حس می کنید. دستگاه شنوایی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت های متفاوتی نشان می دهد، به طوری که بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گستره  $2000\text{ Hz}$  تا  $5000\text{ Hz}$  است، در حالی که گوش انسان قادر به شنیدن تن های صدای  $20\text{ Hz}$  تا  $20,000\text{ Hz}$  است.

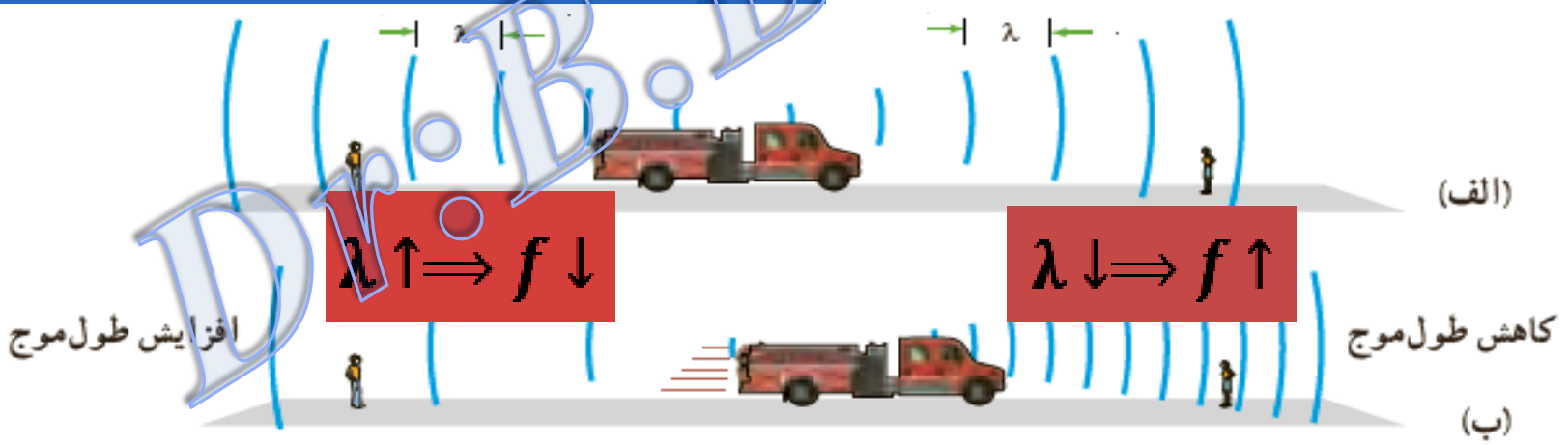
پدیده دوپلر: تغییر فرکانس در اثر حرکت نسبی شنونده و منبع صوت را پدیده دوپلر

گویند.

پارسی لو مرحله برای نظر چشمه نوبت

اسلاید های بعدی

مرحله اول) ناظر شنونده ساکن و چشمه متحرک: شکل الف ، جبهه‌های موج حاصل از صدای آژیر یک ماشین آتش‌نشانی ساکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود فاصله این جبهه‌ها از هم، در جلو و عقب ماشین یکسان است، ولی اگر ماشین آتش‌نشانی مثلاً به جلو حرکت کند، فاصله جبهه‌های موج در جلوی ماشین کمتر از پشت آن خواهد بود (شکل ب) . بنابراین اگر ناظر ساکنی را روبه‌روی ماشین در نظر بگیریم، این ناظر طول موج کوتاه‌تری را نسبت به وضعیتی که ماشین ساکن بود اندازه می‌گیرد، که این به معنی افزایش بسامد برای این ناظر است. در حالی که ناظر ساکن عقب ماشین طول موج بلندتری را نسبت به وضعیتی که ماشین ساکن بود اندازه می‌گیرد، که این به معنی کاهش بسامد برای این ناظر است. بنابراین این که طول موج تغییر کند این است که حتماً منبع صوت حرکت کند.



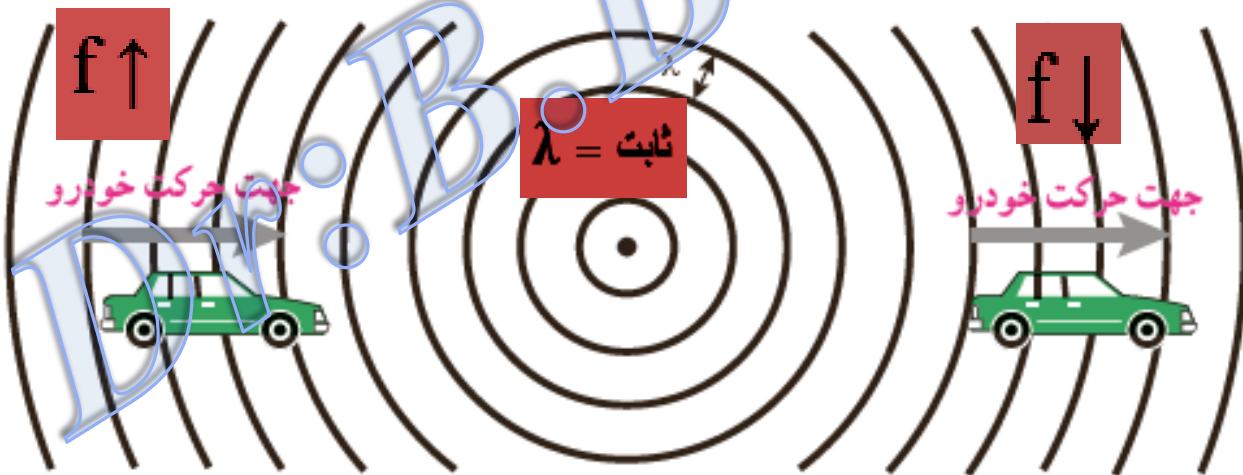
**مرحله اول: الف)** وقتی ماشین ساکن است تجمع جبهه‌های موج در جلو و عقب ماشین یکسان است. (ب) با حرکت رو به جلوی ماشین، تجمع جبهه‌های موج در جلوی ماشین بیشتر و در عقب آن کمتر می‌شود.

مرحله دوم) ناظر شنونده متحرک و چشمه ساکن: در این حالت تجمع جبهه‌های موج در دو سوی چشمه یکسان است. اگر ناظر به طرف چشمه حرکت کند، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت زمان یکسان، با جبهه‌های موج بیشتری مواجه می‌شود که این منجر به افزایش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود. در حالی که اگر ناظر از چشمه دور شود، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت زمان یکسان، با جبهه‌های موج کمتری مواجه می‌شود که این منجر به کاهش بسامد صوتی می‌شود که ناظر

می‌شنود

اگر منبع صوت ساکن باشد همواره شنونده صوت دریافتی را با همان طول موج گسیل شده از

منبع دریافت می‌کند.



**مرحله دوم:** در مدت زمان یکسان خودرویی که به چشمه ساکن صوت نزدیک می‌شود با جبهه‌های موج بیشتری برخورد می‌کند، در حالی که خودرویی که از این چشمه دور می‌شود با جبهه‌های موج کمتری برخورد می‌کند.



# اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی:

شرح: هر گاه چشمه موج الکترومغناطیسی نسبت به ناظر (آشکارساز) در حرکت باشد، بسامد و طول موج دریافتی از این چشمه تغییر می کند. اندازه گیری این تغییرات (جابه جایی دوپلری) نقش مهمی در اخترشناسی دارد. در رصدخانه های نجومی ستارگان، کهکشان ها و سایر چشمه های نوری سماوی، چه هنگامی که از ما دور می شوند و چه هنگامی که به ما نزدیک می شوند، با اندازه گیری جابه جایی دوپلری نور آنها می توان اطلاعاتی در مورد نزدیکی و چگونگی حرکت آنها به دست آورد. این جابه جایی دوپلری صرفاً ناشی از حرکت آن اجرام سماوی نسبت به ناظر (آشکارساز) است. وقتی چشمه نور از ناظر (آشکارساز) دور می شود، طول موج افزایش می یابد که به آن اصطلاحاً انتقال به سرخ می گویند و وقتی چشمه نور به ناظر نزدیک می شود، طول موج کاهش پیدا می کند که به آن اصطلاحاً انتقال به آبی می گویند.

