# تدریس خط به خط

# کتاب فیزیک دوازدهم

# فصل سوم


## عقیل اسکندری

دبیر فیزیک منطقه سه تهران

09125164028

# ۳ فصل

# نوسان و موج

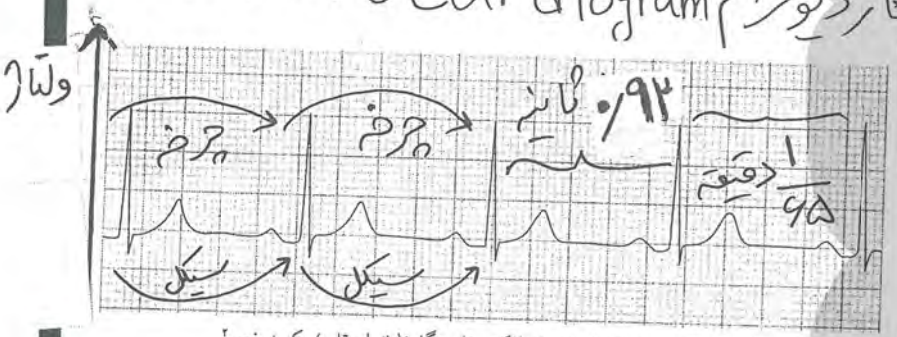
در طراحی و ساخت برج‌های بلند، توجه به قوانین فیزیکی نوسان و موج اهمیت زیادی دارد. در برخی از این برج‌ها آونگ‌های بسیار سنگینی (در حدود چند صد تُن)، در طبقات بالایی نصب می‌کنند تا از نوسان‌های احتمالی برج کم کند. چگونه یک آونگ می‌تواند این نوسان‌ها را کاهش دهد؟

تشدید یا رزونانس زمانی رخ می دهد که فرکانس یا بسامد نیروی خارجی یا فرکانس طبیعی جسم یکسان شوند این آونگ ها با تغییر مکان وزنه در لحظهٔ زلزله از تشدید بین زمین و برج جلوگیری می کنند. است

نوسان: هرگاه متحرک روی مسیر معین آمد و شد کند، نوسان کرده

electrocardiogram یا ECG الکتروکاردیوگرام

(ضربا هنگ (ریتم) قلب




شکل ۳ـ۲ نمونه‌ای از نمودار الکتروقلب نگارهٔ[1] (نوار قلب) یک شخص[2]

این نوسان از نوع نوسان دوره ای است

مدت زمان یک چرخه یا نوسان کامل، دورهٔ تناوب یا پریود حرکت نا

تعداد نوسان های انجام شده در هر ثانیه بسامد یا فرکانس نام دار

(تعداد چرخه ها)

$$f = \frac{1}{T} \longleftrightarrow \text{فرکانس} = \frac{1}{\text{دوره}}$$

$$\text{هرتز (HZ)} = \frac{\text{چرخه}}{\text{ثانیه}} = \frac{1}{s} = s^{-1}$$

# عقیل اسکندری

**پرسش ۳ـ۱**

بسامد ضربان قلب مربوط به نمودار شکل ۳ـ۲ چقدر است؟

دوره $T = \frac{1}{۶۵}$ دقیقه

(۶۵ = ضربان قلب در هر دقیقه) دور بر دقیقه (rpm)

$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{۶۰}{۶۵}} = \frac{۶۵}{۶۰}$

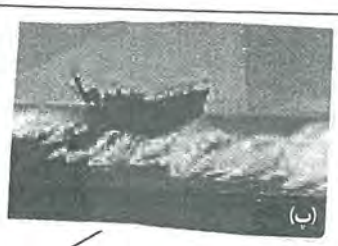
$\frac{۶۵}{1} = \frac{۶۰ \text{ ثانیه}}{T}$ چرخه

$f = \frac{۶۵}{۶۰} = ۱/۰۸ \text{ HZ}$

$T = \frac{۶۰}{۶۵} s$

(الف)

(ج)


(ب)

(ت)

نوسان ضربان قلب — نوسان تاب — نوسان مسافران کشتی — نوسان زمین لرزه

مطالعه و کنترل نوسان در سامانه های مختلف دو هدف اصلی علم فیزیک است

نوسان { دوره ای ← به طور منظم تکرار شود ← دارای چرخه یا سیکل است
غیر دوره ای ← غیر منظم

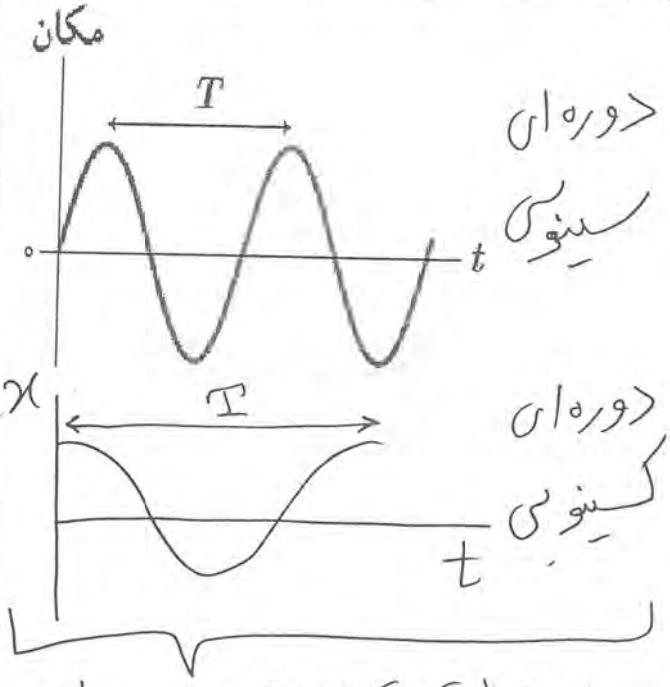
چرخه یا سیکل (یک نوسان کامل) که در بازه های زمانی معین و مساوی دقیقاً تکرار می شود (مانند ضربان قلب)

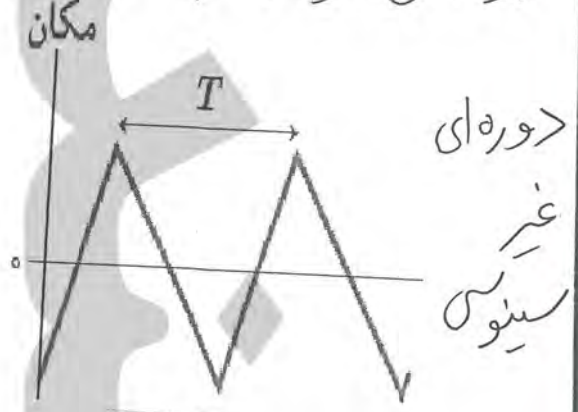
توجه: در حالت کلی به توابع سینوس و کسینوس اصطلاحاً تابع سینوس (Sinusoidal) می‌گویند.

توجه: در کتاب روابط (V و t) و (V و x) در نوسان حذف است

توجه: SHM حرکت نوسانی (هماهنگ) ساده
Simple harmonic motion

نمونه‌ای از نمودار مکان ـ زمان نوسان دوره‌ای




T: زمان طی شدن یک چرخه (سیکل) یا نوسان

در حالت عمومی هر دو سینوسی (حرکت هماهنگ ساده) (SHM)

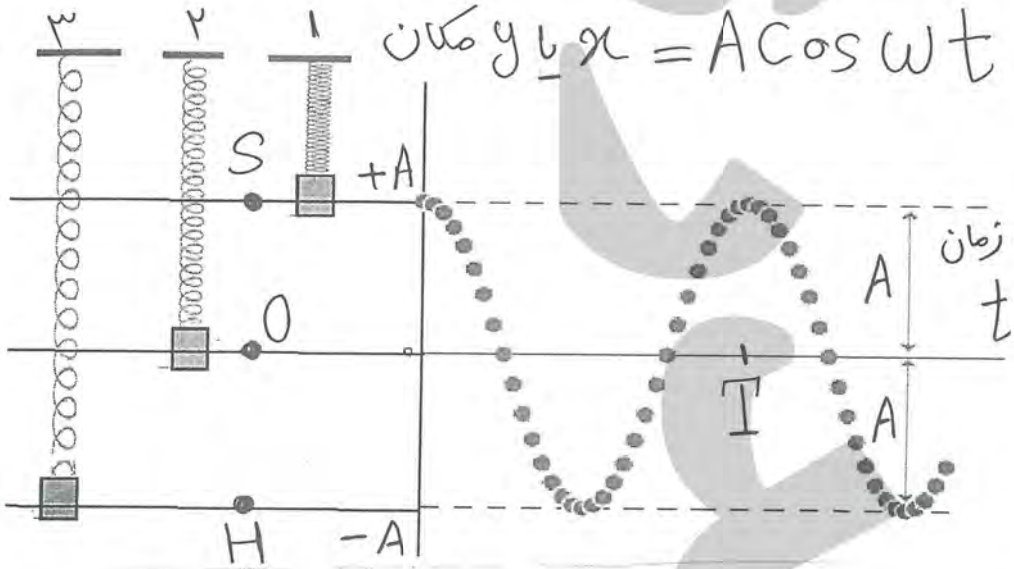
دقت کنید

در بخش پیش با نمونه‌ای از یک نوسان دوره‌ای آشنا شدیم. شکل ۳ـ۳، دو نمونهٔ دیگر از نوسان‌های دوره‌ای را با رسم نمودار مکان ـ زمان آنها نشان می‌دهد. هر دوی این نوسان‌ها دوره‌ای هستند، ولی نوسان شکل ۳ـ۳ ب، به‌طور سینوسی[1] رخ داده است. به نوسان‌های سینوسی، حرکت هماهنگ ساده (SHM)[2] گفته می‌شود. حرکت هماهنگ ساده، مبنایی برای درک هر نوع نوسان دوره‌ای دیگر است زیرا در سطوح بالاتر نشان داده می‌شود که هر نوسان دوره‌ای را می‌توان مجموعی از نوسان‌های سینوسی در نظر گرفت.

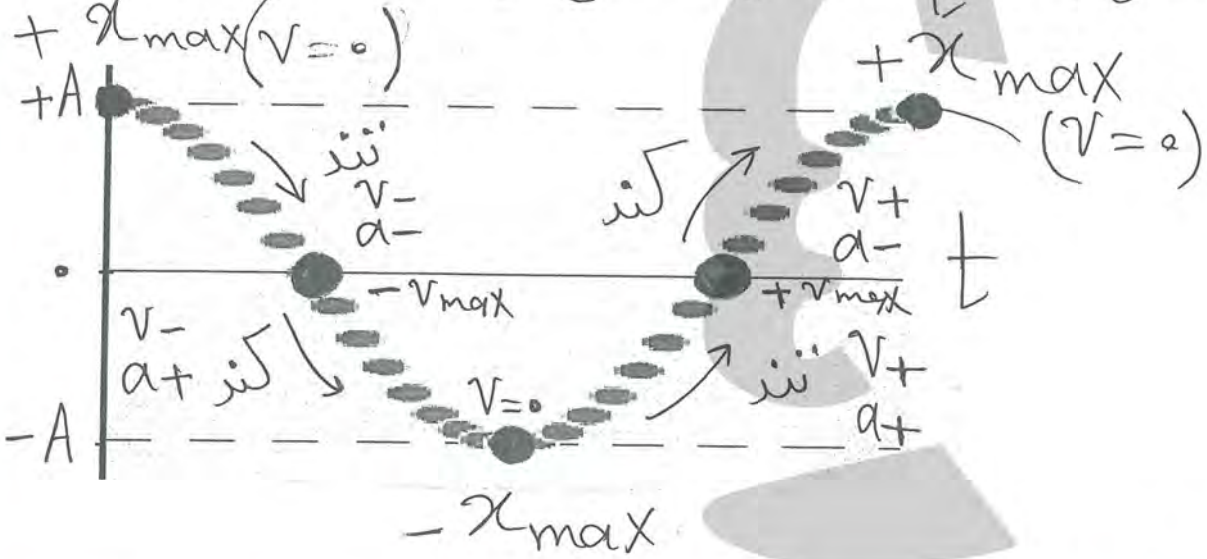
مبنای هر نوسان دوره‌ای

با این دیدگاه حتی نمودار سمت راست هم شامل سینوس‌ها می‌شود!

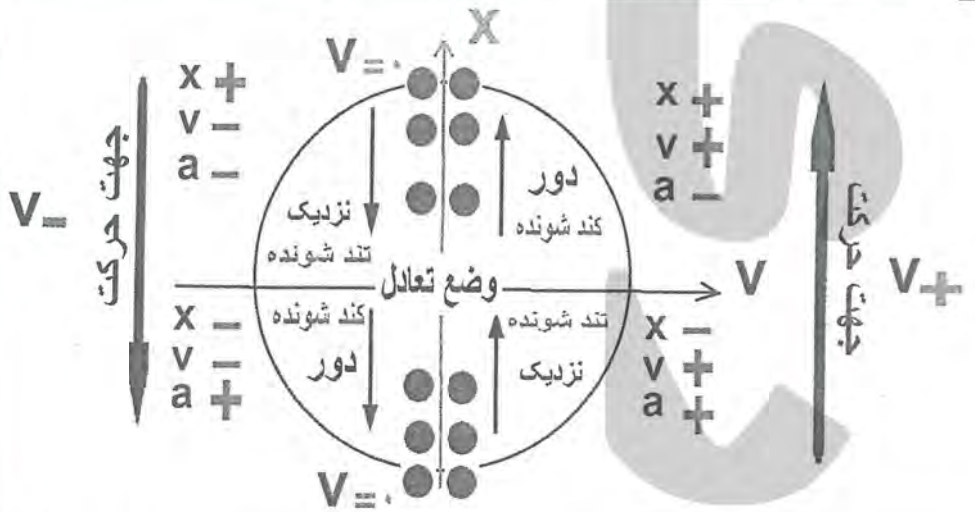
فنری از سقف آویزان است در شکل (۱) وزنه به آن متصل می‌کنیم و ناگهان رهایش می‌کنیم وزنه از نقطه S به H می‌رود و برمی‌گردد




این یک حرکت نوسان دوره‌ای (هماهنگ ساده) است و اگر هیچ نیروی مقاومی وجود نداشته باشد در حالت آرمانی تا ابد روی خط SOH نوسان ادامه خواهد یافت. اگر به سمت راست شکل دقت کنیم فاصله گلوله‌ها نوع حرکت را نشان می‌دهد.

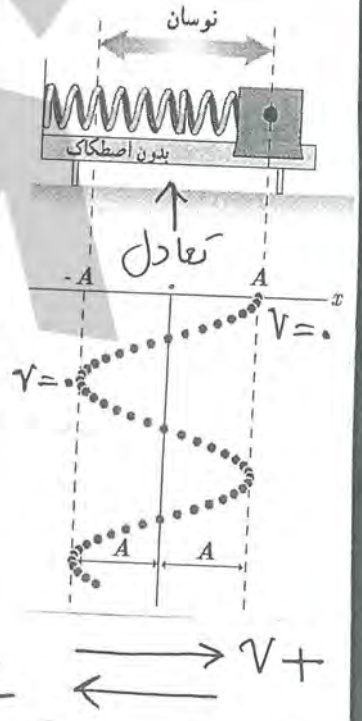


کل نوسان دوره ای (هماهنگ ساده)

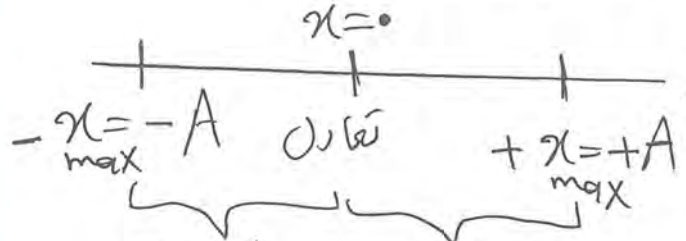



نوسان روی سطح افق بدون اصطکاک (کاملاً صیقلی)

یک نمونهٔ معروف از حرکت هماهنگ ساده، جرمی است که با یک فنر نوسان می‌کند. شکل ۳ـ۴ جسم متصل به فنری را نشان می‌دهد که روی سطح افقی بدون اصطکاکی قرار گرفته است. اگر جسم به اندازهٔ چند سانتی‌متر کشیده و سپس رها شود، به جلو و عقب نوسان خواهد کرد. اگر مکان جسم را در بازه‌های زمانی متوالی و یکسان ثبت کنیم به نموداری سینوسی می‌رسیم که در این شکل نشان داده شده است. در این شکل جسم بین $x=-A$ و $x=+A$ به جلو و عقب می‌رود که در آن $A$ *دامنهٔ* حرکت است. به عبارتی دامنهٔ حرکت، بیشینهٔ فاصلهٔ جسم از *نقطهٔ تعادل* است. توجه کنید که دامنه، فاصلهٔ بین دو انتهای مسیر نیست.




اگر از وضع تعادل وزنه را مثلاً ۲cm به سمت راست بکشیم و رها کنیم، گلوله از طرف دیگر هم ۲cm به سمت چپ می‌رود و دائماً روی همین خط نوسان می‌کند:




دامنه A | دامنه A

خط نوسان = ۲A

دامنه = نصف خط نوسان

دامنه = بیشترین انحراف از وضع تعادل

دامنه = بُعد بیشینه

بخوانید و پاسخ دهید
① معادله مکان زمان (حرکت) هماهنگ ساده را بنویسید.
② بسامد زاویه‌ای با دوره و فرکانس چه رابطه‌ای دارد؟
③ یکای بسامد زاویه‌ای چیست؟
④ در نقاط تعادل و بازگشتی سرعت چندان است؟

همان‌طور که دیدیم، در حرکت هماهنگ ساده نمودار مکان ــ زمان، نموداری سینوسی است. یعنی مکان (یا جابه‌جایی نسبت به نقطهٔ تعادل) را می‌توان به‌صورت تابعی سینوسی یا کسینوسی از زمانِ $t$ نوشت. در این کتاب برای سادگی تابع کسینوس را برمی‌گزینیم، یعنی فرض می‌کنیم در لحظهٔ $t=0\,s$ نوسانگر در مکان بیشینهٔ خود، یعنی $x=+A$، باشد. بنابراین مکانِ $x(t)$ نوسانگر را می‌توان چنین نوشت :

$$x(t)=A\cos\omega t \qquad (۳\text{ـ}۲)$$ (معادلهٔ مکان ــ زمان در حرکت هماهنگ ساده)

در این رابطه $\omega$ بسامد زاویه‌ای نوسانگر نامیده می‌شود و برابر است با :

$$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f \qquad (۳\text{ـ}۳)$$ (بسامد زاویه‌ای)

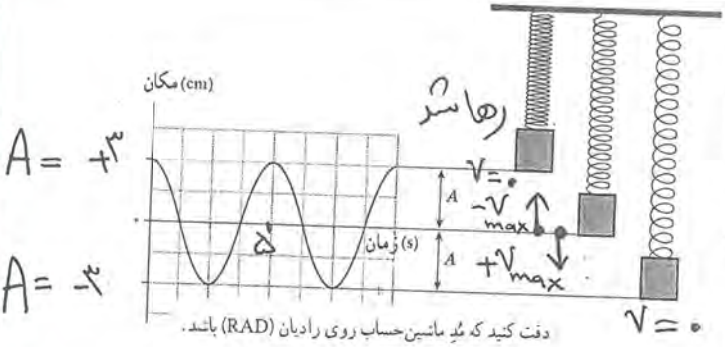
یکای بسامد زاویه‌ای در SI برابر rad/s است.

توجه کنید که در رابطهٔ ۳ــ۲، شناسهٔ تابع کسینوس (یعنی $\omega t$) برحسب رادیان است. شکل ۳ــ۵ نموداری از این تابع را نشان می‌دهد. اگر به حرکت سامانهٔ جرم ــ فنر شکل ۳ــ۴ توجه کنید درمی‌یابید که وقتی نوسانگر در $x=\pm A$ است، سرعت آن برابر با صفر است. به این نقطه‌ها اصطلاحاً *نقطه‌های بازگشت*[۲] حرکت می‌گویند. همچنین وقتی $x=0$ است (یعنی نوسانگر از نقطهٔ تعادل می‌گذرد) اندازهٔ سرعت بیشینه است، یعنی بسته به اینکه جسم در جهت $+x$ یا $-x$ از نقطهٔ تعادل بگذرد، $v=+v_{max}$ یا $v=-v_{max}$ خواهد بود[۴]. اگرچه روابط ۳ــ۲ و ۳ــ۳ و بحث کوتاهی که دربارهٔ سرعت نوسانگر انجام دادیم برای سامانهٔ جرم ــ فنر بود، ولی برای هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای (از جمله آونگ ساده) برقرار است.

نقطه بازگشتی | نقطه تعادل | نقطه بازگشتی
$V=0$ | $+V_{max}$ حرکت → | $V=0$
حرکت ← $-V_{max}$

### مثال ۳ــ۱

جرمی متصل به یک فنر با بسامد ۰/۲۰ Hz و دامنهٔ ۳/۰ cm به‌طور هماهنگ در امتداد قائم نوسان می‌کند. پس از گذشت ۱۰/۶۶s از رها شدن جرم از بالای نقطهٔ تعادل، جابه‌جایی این جرم نسبت به نقطهٔ تعادل چقدر است؟




دقت کنید که ماشین‌حساب روی رادیان (RAD) باشد.

پاسخ : با استفاده از رابطهٔ $x=A\cos\omega t$ جابه‌جایی نسبت به نقطهٔ تعادلِ جرم ــ فنر را محاسبه می‌کنیم :

که در آن : cm به متر تبدیل شود

$$A=0/030\,m\ ,\ \omega=2\pi f=2\pi\,(0/20\,s^{-1})=0/40\pi\ rad/s\ ,\ t=10/66\,s$$

در نتیجه، در یکای SI داریم[۳] :

$$x=(0/030\,m)\cos(0/40\pi\ rad/s\times 10/66\,s)=0/020\,m$$

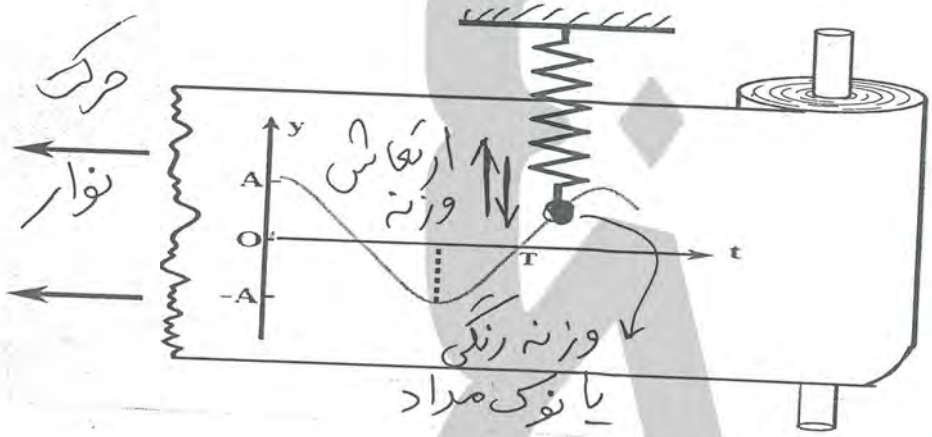
$T=1/f=1/0/2=5\,s$

برای حل تمرین‌ها و مثال‌ها به ماشین حساب مهندسی نیازاست

## فعالیت ۳ـ۱

**نوسان‌نگار** : نوسان‌نگار وسیله‌ای برای ثبت نوسان‌ها است. می‌خواهیم یک نوسان‌نگار ساده درست کنیم. به این منظور، یک وجه قطعه شیشه‌ای با طول و عرض تقریبی ۲۰cm و ۱۰cm را روی شعلهٔ شمعی بگیرید تا به خوبی دوداندود شود. سپس تیغهٔ نوک‌تیزی را به نوک یکی از شاخه‌های دیاپازون[1] کم‌بسامدی (در حدود ۱۰۰Hz) محکم بچسبانید. دیاپازون را به نوسان وادارید و آن را به‌سرعت روی شیشهٔ دوداندود به حرکت درآورید، طوری‌که اثر نوک تیز تیغه روی سطح دوداندود بیفتد. روی شیشه، خط موج‌داری رسم می‌شود که به آن *نوسان‌نگاشت*[2] گفته می‌شود.

نوسان نگاشت با دیاپازون نوک تیز
توجه: باید بسامد دیاپازون کم باشد (۱۰۰Hz)
نوسان نگاشت
oscillogram




توجه: رسم زلزله‌نگار و نوار قلم‌شده این آزمایش

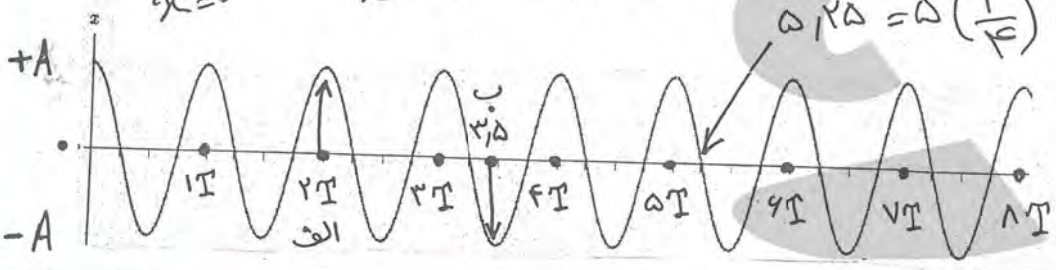
## تمرین ۳ـ۱

ذره‌ای در حال نوسان هماهنگ ساده با دورهٔ تناوب $T$ است. با فرض اینکه در $t=0\,s$ ذره در $x=+A$ باشد، تعیین کنید در هر یک از لحظات زیر، آیا ذره در $x=-A$، در $x=+A$، یا در $x=0$ خواهد بود؟ الف) $t=2/00\,T$، ب) $t=3/50\,T$، پ) $t=5/25\,T$

(*راهنمایی*: برای پاسخ به این تمرین، ساده‌تر آن است که چند دوره از یک نمودار کسینوسی را رسم کنید.)

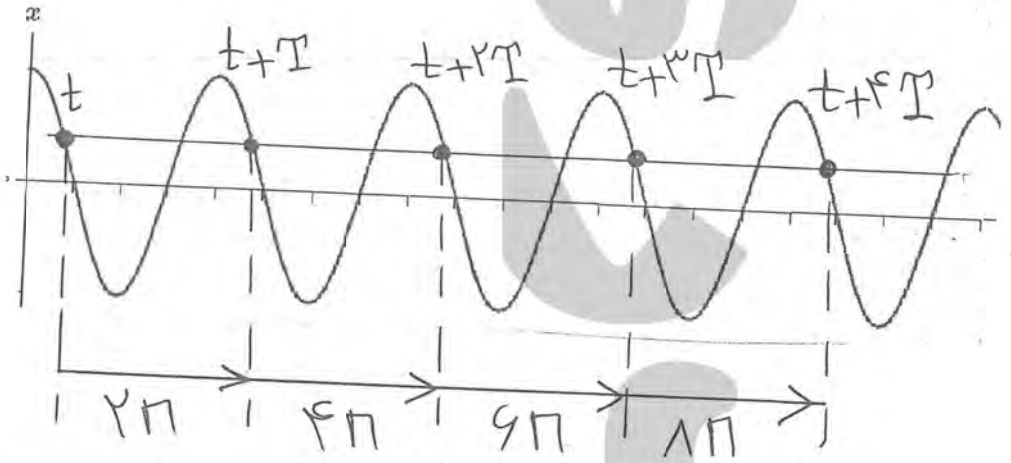
$x=0$ $x=-A$ $x=+A$

ب $5/25 = 5\left(\frac{1}{4}\right)$



**○ تمرین ۳ـ۲**

در حرکت هماهنگ ساده، مکان $x(t)$ باید پس از گذشت یک دورهٔ تناوب برابر مقدار اولیه‌اش شود. یعنی اگر $x(t)$ مکان در زمان دلخواه $t$ باشد، آن‌گاه نوسانگر باید در زمان $t+T$ دوباره به همان مکان بازگردد و بنابراین $A\cos\omega t = A\cos\omega(t+T)$. براین اساس نشان دهید $\omega = 2\pi/T$.




$$\begin{cases}\cos\omega t = \cos(\omega t + 2\pi) \\ \cos\omega t = \cos(\omega(t+T))\end{cases}$$ اولین نقطه هم مکان

$$\omega t + 2\pi = \omega(t+T)$$
$$\omega t + 2\pi = \omega t + \omega T$$
$$2\pi = \omega T \longrightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$$

(برای هر نقاط بعدی هم قابل تکرار است)

**فعالیت ۳ـ۲**

با انتخاب وزنه‌ها و فنرهای مختلف، با جرم‌ها و ثابت فنرهای معلوم و مناسب، در آرایشی مطابق شکل، و با اندازه‌گیری زمان تعداد مشخصی نوسان کامل، و سپس محاسبهٔ دورهٔ تناوب $T$ برای هر سامانهٔ جرم ـ فنر، به‌طور تجربی نشان دهید که :

الف) دورهٔ تناوب سامانهٔ جرم ـ فنر با یک فنر معیّن ولی وزنه‌های متفاوت، با جذر جرم وزنه به‌طور مستقیم متناسب است ($T \propto \sqrt{m}$).

ب) دورهٔ تناوب سامانهٔ جرم ـ فنر با یک وزنهٔ معیّن ولی فنرهای متفاوت، با جذر ثابت فنر به‌طور وارون متناسب است ($T \propto 1/\sqrt{k}$).

این فعالیت قصد دارد بطور تجربی $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ حاصل آید

اگر قصد تحقیق $T \propto \sqrt{m}$ را داریم نباید فنر را عوض کنیم فقط چند وزنه مختلف می بندیم و به نوسان درمی آوریم

اگر قصد تحقیق $T \propto \sqrt{\frac{1}{K}}$ را داریم نباید وزنه را عوض کنیم فقط فنرها را تعویض می کنیم و به همان وزنه متصل می کنیم

---

آزمایش‌های متعدد با جرم و فنر نشان می‌دهد که افزایش جرم $m$ در سامانهٔ جرم ـ فنر (با فنر یکسان) به کُند شدن نوسان‌ها، یعنی افزایش دورهٔ تناوب $T$ می‌انجامد. همچنین اگر این آزمایش‌ها را با وزنه‌ای به جرم ثابت ولی فنرهایی با سختی متفاوت ($k$یِ متفاوت) انجام دهیم، درمی‌یابیم که با افزایش ثابت فنر $k$ دورهٔ تناوب $T$یِ نوسان‌ها کوتاه‌تر می‌شود.

$K$ ثابت
$m$ زیاد
$T$ زیاد
نوسان کندتر

$m$ ثابت و $K$ زیاد ← $T$ کم
نوسان تندتر

---

در یک سامانه نوسانی فنر ـ گلوله (افقی یا عمودی) به شرط آنکه هیچ نیروی اتلافی وجود نداشته باشد

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$ یا $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$

دوره — فرکانس

**مثال ۳ـ۲**

قطعه‌ای به جرم ۶۸۰g به فنری با ثابت فنر $k = 65\,N/m$ بسته شده است. قطعه را به اندازهٔ مشخصی از مکان تعادل خود روی یک سطح افقی بدون اصطکاک می‌کشیم و از حالت سکون رها می‌کنیم. الف) دورهٔ تناوب و ب) بسامد زاویه‌ای نوسان چقدر می‌شود؟

پاسخ : الف) دورهٔ تناوب با استفاده از رابطهٔ ۳ـ۴ به‌دست می‌آید :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0/680\,kg}{65\,N/m}} = 0/64\,s$$

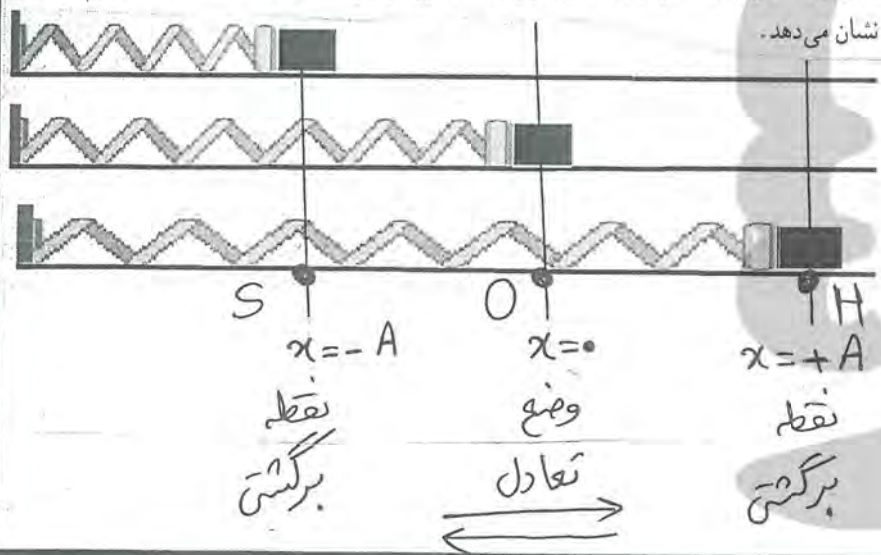
ب) بسامد زاویه‌ای از رابطهٔ ۳ـ۵ به‌دست می‌آید :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{65\,N/m}{0/680\,kg}} = 9/8\ rad/s$$

شکل ۳ـ۶ سامانهٔ جرم ـ فنری را هنگام نوسان روی سطح افقی بدون اصطکاک نشان می‌دهد. این سامانه مثال بارز حرکت هماهنگ ساده است. در کتاب فیزیک ۱ دیدید وقتی فنری فشرده یا کشیده می‌شود در سامانهٔ جرم ـ فنر انرژی پتانسیل کشسانی ذخیره می‌شود، به‌طوری که با افزایش جابه‌جایی از نقطهٔ تعادل (جایی که فنر نه فشرده و نه کشیده شده است) این انرژی پتانسیل افزایش می‌یابد. بنابراین انرژی پتانسیل سامانهٔ جرم ـ فنر در نقاط بازگشتی ($x=\pm A$) بیشینه و در نقطهٔ تعادل ($x=0$) برابر صفر است.

انرژی جنبشی این سامانه نیز به جرم قطعهٔ متصل به فنر و تندی آن بستگی دارد و برابر با $K=\frac{1}{2}mv^2$ است. با افزایش جابه‌جایی از نقطهٔ تعادل، تندی کاهش می‌یابد و انرژی جنبشی سامانه نیز کم می‌شود، طوری که در نقاط بازگشتی $x=\pm A$ که تندی صفر می‌شود انرژی جنبشی سامانه به صفر می‌رسد. بیشینهٔ تندی در نقطهٔ تعادلِ $x=0$ رخ می‌دهد و بنابراین انرژی جنبشی نیز در این نقطه بیشینه می‌شود.

در فیزیک ۱ آموختیم که انرژی مکانیکی این سامانه برابر با مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن است ($E=K+U$). چون سطح بدون اصطکاک است، انرژی مکانیکی سامانه پایسته می‌ماند و بنابراین مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل در نقاط بازگشتی، نقطهٔ تعادل، و هر نقطهٔ دلخواه دیگری از مسیر با هم برابر است. به همان اندازه که با افزایش جابه‌جایی از نقطه تعادل، انرژی پتانسیل افزایش می‌یابد، انرژی جنبشی کاهش می‌یابد و بالعکس. شکل ۳ـ۷ تبدیل انرژی‌های جنبشی و پتانسیل به یکدیگر و پایستگی انرژی مکانیکی در حرکت هماهنگ سادهٔ سامانهٔ جرم ـ فنر را نشان می‌دهد.




بخوانید و پاسخ دهید :

① شرط اصلی این نوسان ، بدون اصطکاک بودن است در این حالت چه رابطه‌ای بین انرژی‌ها وجود دارد ؟

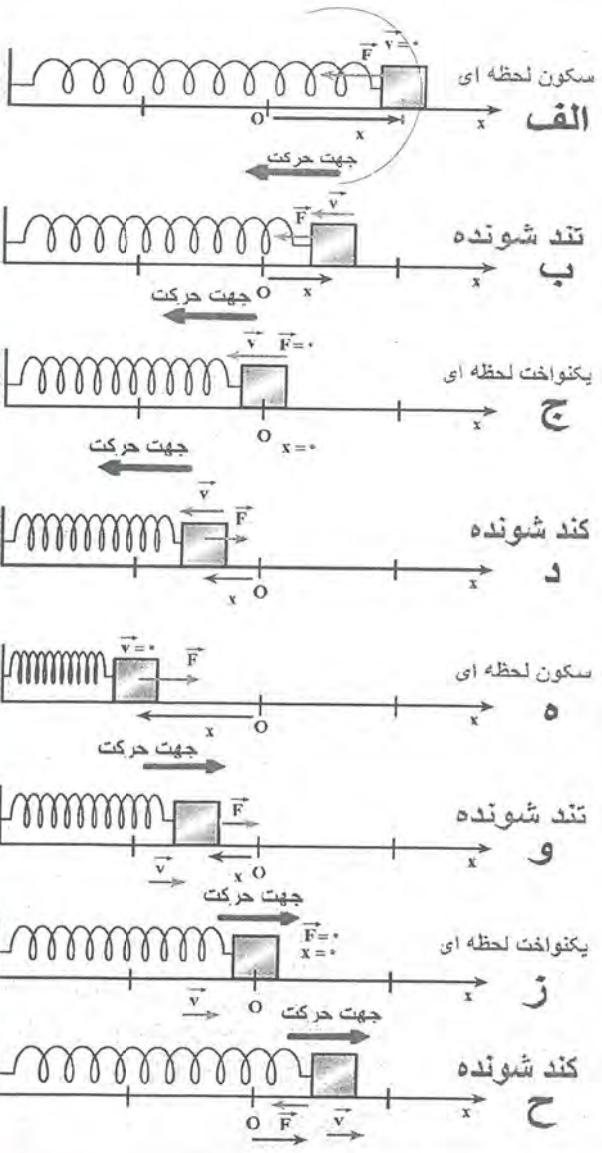
② در چه نقاطی K و U و E ماکزیمم یا صفر می‌شوند ؟

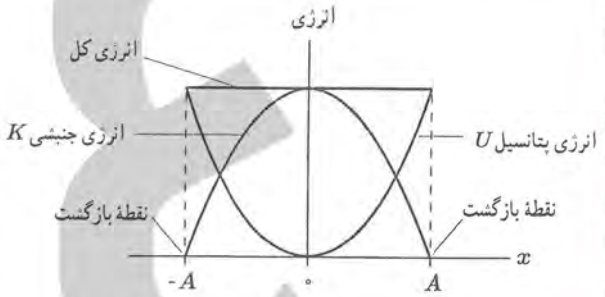
(هماهنگ ساده) نوسان دوره‌ای

# عقیل اسکندری

ص ۱۱ | ف ۳ | ک ۱۲

| گلوله | x | a | F | U | V | K | E | نوع حرکت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الف | max + | max − | max − | max + | | | + ثابت | سکون لحظه ای |
| ب | + کاهش | − کاهش | − کاهش | + کاهش | − افزایش | + افزایش | + ثابت | تند شونده |
| ج | | | | | max − | max + | + ثابت | یکنواخت لحظه ای |
| د | − افزایش | + افزایش | + افزایش | + افزایش | − کاهش | + کاهش | + ثابت | کند شونده |
| ه | max − | max + | max + | max + | | | + ثابت | سکون لحظه ای |
| و | − کاهش | + کاهش | + کاهش | + کاهش | + افزایش | + افزایش | + ثابت | تند شونده |
| ز | | | | | max + | max + | + ثابت | یکنواخت لحظه ای |
| ح | + افزایش | − افزایش | − افزایش | + افزایش | + کاهش | + کاهش | + ثابت | کند شونده |




شکل ۳ـ۷ تبدیل انرژی در حین حرکت هماهنگ سادهٔ سامانهٔ جرم ــ فنر. توجه کنید که در نقطهٔ $x=0$ انرژی، صرفاً جنبشی و در نقطه‌های $x=\pm A$ انرژی، صرفاً پتانسیل است. در این حرکت انرژی مکانیکی پایسته است، به گونه‌ای که به‌طور پیوسته از انرژی پتانسیل $U$ به انرژی جنبشی $K$ تبدیل می‌شود و بالعکس.

$$E=\frac{1}{2}kA^2$$

$$k_{\text{فنر}}=m\omega^2$$ ثابت

$$E=U+K$$

مکانیکی = پتانسیل + جنبشی

$\frac{1}{2}kA^2$ ↓ $\frac{1}{2}mV^2$

فرمول $U=\frac{1}{2}kx^2$ فقط در آزمون می آید

توجه: وقتی دستگاه وزنه ـ فنر درحال نوسان ساده است در هر لحظه نیروی بازگردان، وزنه را به وضع تعادل می‌کشد

نیروی خالص $F_{net} = -F_e$

$ma = -kx \longrightarrow ma = -mw^2x$

(رابطه شتاب ـ مکان در نوسان) $a = -w^2x$

رابطه انرژی مکانیکی یک سامانه وزنه ـ فنر را برحسب جرم و دامنه و فرکانس بدست آورید:

$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mw^2A^2 = 2\pi^2mf^2A^2$

ثابت فنر $k = mw^2$ و $w = 2\pi f$

یعنی انرژی کل با جرم وزنه و مجذور فرکانس و مجذور دامنه رابطه مستقیم دارد.

$E \propto m \cdot f^2 \cdot A^2$

اگرچه پایستگی انرژی مکانیکی و تبدیل انرژی‌های جنبشی و پتانسیل به یکدیگر را فقط برای نوسانگر جرم ـ فنر بررسی کردیم، ولی می‌توان نشان داد در حالت کلی، برای هرگونه نوسانگر هماهنگ سادهٔ دیگری (از جمله آونگ ساده) نیز برقرار است. همچنین بنا به رابطهٔ ۳ـ۷ انرژی مکانیکی هر نوسانگر هماهنگ ساده‌ای متناسب با مربع دامنه ($A^2$) و مربع بسامد ($f^2$) است.

$E = U + K$

ثابت $= 0 + K_{max}$

ثابت $= U_{max} + 0$

$E = U_{max} = K_{max}$

**مثال ۳ـ۳**

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

ب) تندی نوسانگر هماهنگ ساده‌ای که با دامنهٔ ۱۰cm و دورهٔ ۰/۵۰s نوسان می‌کند هنگام عبور از نقطهٔ تعادل چقدر است؟

پاسخ : الف) بیشینهٔ تندی در حرکت هماهنگ ساده هنگام عبور نوسانگر از نقطهٔ تعادل رخ می‌دهد، جایی که انرژی پتانسیل صفر است. با استفاده از تعریف انرژی مکانیکی ($E = K + U$) و همچنین رابطه‌های ۳ـ۷ و ۳ـ۳ خواهیم داشت :

$$۲\pi^۲ mA^۲ f^۲ = \frac{۱}{۲} m v_{max}^۲ + ۰ \Rightarrow v_{max} = ۲\pi A f = A\omega$$

ب)

$$v_{max} = A\omega = A(\frac{۲\pi}{T}) = (۰/۱۰\,m)(\frac{۲\pi}{۰/۵۰\,s}) = ۱/۳\,m/s$$

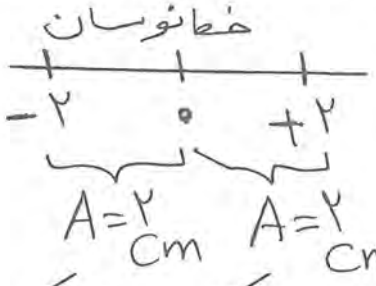
خیلی خیلی مهم

مثال) نوسانگری روی یک خط به طول ۴cm در هر ۲۰s ۱۰۰ مرتبه حرکت می کند : (الف) ساده ترین معادله حرکت را بنویسید (ب) بیشینه تندی (پ) اندازه شتاب در مکان $۱\,cm$ - (ت) جرم آن و ۲۰۰ است انرژی مکانیکی چند است؟ ($\pi^۲ = ۱۰$)

(ث) وقتی تندی نصف مقدار $v_{max}$ است انرژی پتانسیل ؟

(ج) وقتی انرژی جنبش با پتانسیل برابر است سرعت چند است ؟

الف) (دامنه = نصف خط نوسان) $x(cm)$




وقتی نوسانگر دو بار خط نوسان را طی می کند یعنی یک بار می رود و یک بار برمی گردد ، یک نوسان انجام داده است

$$\frac{\text{نوسان } ۳۰۰}{۱} = \frac{۲۰\,s}{T}$$ ← شصد نوسان ← ششصد بار طی خط

$$T = \frac{۱}{۱۵}\,s$$

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} = \frac{۲\pi}{\frac{۱}{۱۵}} = ۳۰\pi\ rad/s$$

(الف) $x = A\cos\omega t = ۰/۰۲\cos ۳۰\pi t$

خلاصه با این لحظه : $A = 0/02\ m$ و $W = 30\pi\ \frac{rad}{s}$

ب) $V_{max} = AW = 0/02 \times 30\pi = 0/6\pi\ m/s$

پ) $a = -W^2 x = -(30\pi)^2(-0/01) = 9\pi^2\ \frac{m}{s^2}$

ت) $E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mW^2A^2$

$E = \frac{1}{2}(0/2)(30\pi)^2(0/02)^2 = \frac{1}{10} \times 900\pi \times \frac{4}{10000}$ ($\pi^2 \to 10$)

$E = 0/36\ J$

ث) $V = \frac{1}{2}V_{max} \to \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{4}mV_{max}^2\right)$

$K = \frac{1}{4}K_{max} = \frac{1}{4}E$

$E = U + K \to U = E - \frac{1}{4}E = \frac{3}{4}E = 0/27\ J$

ج) $U = K \to E = 2K \to K = \frac{1}{2}(0/36) = 0/18\ J$

$K = \frac{1}{2}mV^2 \to V = \sqrt{\frac{2 \times 0/18}{0/2}} = 0/9\sqrt{2}\ m/s$

**آونگ ساده** : آونگ ساده شامل وزنهٔ کوچکی به جرم $m$ (موسوم به وزنهٔ آونگ) است که از نخی بدون جرم و کش‌نیامدنی به طول $L$ که سر دیگر آن ثابت شده، آویزان است (شکل ۳ـ۸). اگر زاویهٔ انحراف آونگ از وضع تعادل کوچک باشد، آونگ حرکت هماهنگ ساده خواهد داشت و همان تبدیل‌های انرژی نوسانگر هماهنگ ساده در اینجا نیز رخ می‌دهد.

آزمایش‌های متعدد و محاسبه، نشان می‌دهد دورهٔ تناوب آونگ ساده فقط به شتاب گرانشی ($g$) و طول آونگ ($L$) بستگی دارد، و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

شکل ۳ـ۸ آونگ ساده، شامل وزنه‌ای کوچک است که از نخی بدون جرم و کش‌نیامدنی آویزان است.

این رابطه نشان می‌دهد که دورهٔ تناوب آونگ ساده به جرم و دامنهٔ آن بستگی ندارد.

شرایط آونگ

# عقیل اسکندری

ص ۱۵ | ف ۳ | ک ۱۲

**مثال ۳ـ۴**

بستگی دورهٔ تناوب آونگ به شتاب گرانشی، روش دقیقی را برای تعیین $g$ به‌دست می‌دهد. در این روش با اندازه‌گیری طول $L$ و دورهٔ تناوب $T$، می‌توان $g$ را به‌دست آورد. ژئوفیزیک‌دانی با استفاده از یک آونگ ساده به طول ۰/۱۷۱m که ۷۲/۰ نوسان کامل را در ۶۰/۰s انجام می‌دهد، شتاب $g$ زمین را در مکانی خاص تعیین می‌کند. وی مقدار $g$ را در این مکان چقدر به‌دست می‌آورد؟

$$T = \frac{\text{زمان}}{\text{تعداد نوسان‌ها}} = \frac{۶۰/۰\,s}{۷۲/۰} = ۰/۸۳۳\,s$$

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \longrightarrow g = \frac{۴\pi^۲ L}{T^۲} = \frac{۴\pi^۲(۰/۱۷۱m)}{(۰/۸۳۳s)^۲} = ۹/۷۳\,m/s^۲$$

---

مثال) اگر آونگی در یک آسانسور که به طور یکنواخت پایین می‌رفت هر ۲s چهار نوسان کند و ناگهان کابل آسانسور پاره شود (الف) طول آونگ $g=۱۰$ و $\pi^۲=۱۰$

(ب) در مرحله دوم دوره تناوب آونگ

(الف) $\frac{۲\,s}{T} = \frac{۴\text{ نوسان}}{۱} \longrightarrow T = ۰/۵\,s$ ← یکنواخت $a=۰$

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \longrightarrow L = \frac{T^۲ g}{۴\pi^۲} = \frac{۰/۲۵ \times ۱۰}{۴ \times ۱۰} = \frac{۱}{۱۶}\,\text{متر}$$

(ب) $T = ۲\pi\sqrt{\frac{L}{g \pm a}}$ ← بالا رفتن / شتاب / پایین آمدن

آونگ در آسانسور

یعنی گلوله در زمان خلی خلی طولانی یک نوسان انجام می‌دهد

کابل پاره شود $a=g$

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{L}{g-g}} = \frac{\text{عدد}}{۰} = ۵۰$$

(در واقع در مکان خود می‌ماند و نوسان نمی‌کند)

مثال) آونگی در یک فضاپیما در سطح زمین ثانیه می‌زند

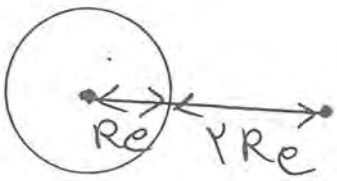
(الف) طولش چقدر است ($g=\pi^2$)

(ب) وقتی ارتفاع پرواز فضاپیما از سطح زمین با قطر زمین برابر شود طول آونگ چه تغییری کند که دوره ثابت بماند؟

(الف) $T=1\,s$ (ثانیه می‌زند)

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \longrightarrow L=\frac{T^2 g}{4\pi^2}=\frac{1\times\pi^2}{4\times\pi^2}=\frac{1}{4}\ \text{متر}$$

(ب)




$$g_{\text{ارتفاع}}=\frac{GM_e}{(R_e+2R_e)^2}=\frac{1}{9}\frac{GM_e}{R_e^2}$$

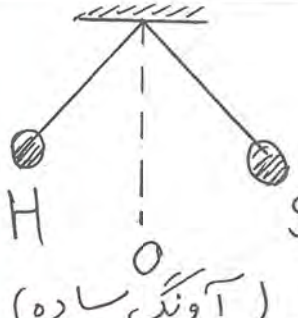
$$g_{\text{ارتفاع}}=\frac{1}{9}g_{\text{سطح}}=\frac{1}{9}\pi^2$$

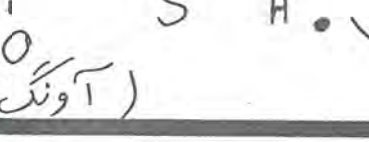
$$T_{\text{ارتفاع}}=T_{\text{سطح}} \longrightarrow \frac{L_{\text{ارتفاع}}}{g_{\text{ارتفاع}}}=\frac{L_{\text{سطح}}}{g_{\text{سطح}}}$$

$$L_{\text{ارتفاع}}=\left(\frac{\frac{1}{9}g}{g}\right)L_{\text{سطح}} \longrightarrow L_{\text{ارتفاع}}=\frac{1}{9}L_{\text{سطح}}$$

---

مثال) در شکل روبرو دوره $0/4\,s$ است وگلوله از H رها می‌شود در $t=0/25\,s$ چه وضعی دارد در مسیر S به O



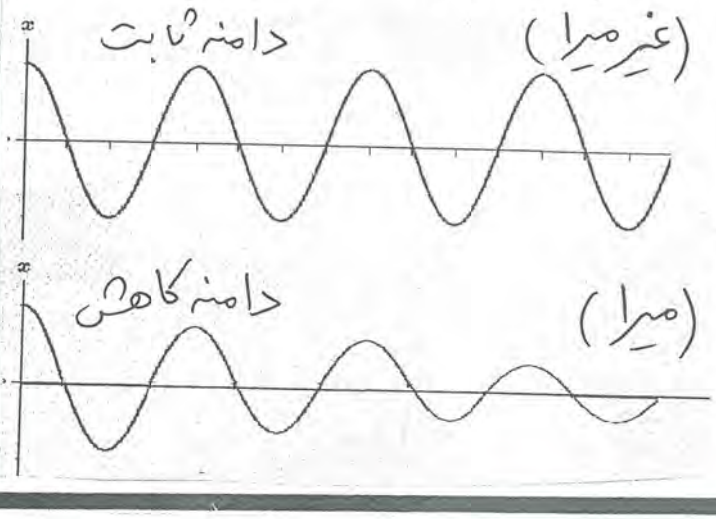



شرط دوام و بقای یک نوسان چیست؟ ① عکس
① تبدیل پی در پی انرژی های پتانسیل و جنبشی به هم و بر
② وجود یک نیروی خارجی برای تأمین نیروی نوسان ساز
(زیرا در عمل هرگز نمی توان تمام نیروهای اتلافی و اصطکاک را از بین برد و باید برای جبران، نیروی خارجی داشت)

---

نوسان میرا: هرگاه در محیط واقعی یک نوسان گر داشته باشیم و برای جبران نیروی اصطکاک و مقاوم نیروی خارجی وارد نکنیم، دامنه نوسان کاهش یافته و نوسان از بین می رود (می میرد)

نوسان غیر میرا: نوسانی که هیچ نیروی مقاوم یا اصطکاکی برای نوسانگر وجود نداشته باشد (که البته در حالت واقعی امکان ندارد چنین حالتی یافت شود بنابراین باید از خارج نیرو وارد گردد تا دامنهٔ نوسان حفظ شود



بسامد طبیعی : وقتی یک نوسانگر بدون دریافت نیروی خارجی نوسان می‌کند ، دارای بسامد طبیعی یا $f_0$ است.

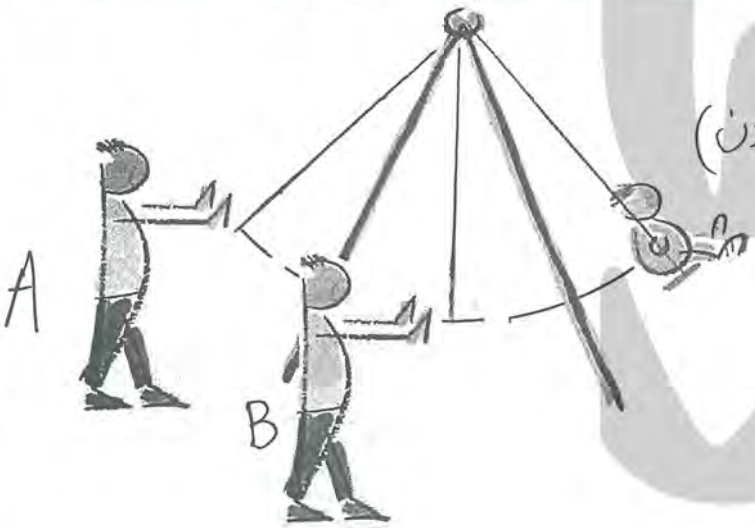
مثلاً" بسامد طبیعی سامانهٔ وزنه - فنر $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

بسامد طبیعی آونگ ساده $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$

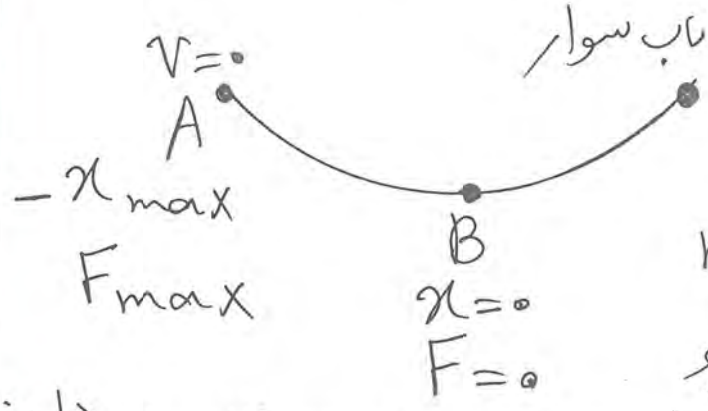
بسامد وادارشده : وقتی برنوسانگر نیروی خارجی وارد شود ، بسامدش ممکن است تغییر کند به این بسامد جدید ، بسامد وادارشده یا $f_d$ می‌گوئیم.

نوسان آزاد : هرگاه برنوسانگر نیروی خارجی اثر نکند خواه اصطکاک و نیروی مقاوم وجود داشته باشد ، خواه وجود نداشته باشد نوسان آزاد است { سطح صیقلی افقی (وزنه فنر) (آب خوردن با وجود مقاومت هوا (فرکانس نوسان آزاد ← $f_0$ طبیعی)

توجه : این درست نیست که بگوئیم : الزاماً" وجود نیروی خارجی موجب (ثابت ماندن و یا) بزرگ شدن دامنهٔ نوسان می‌گردد باید متوجه باشیم که شاید نیروی خارجی باعث کاهش دامنهٔ نوسان شود



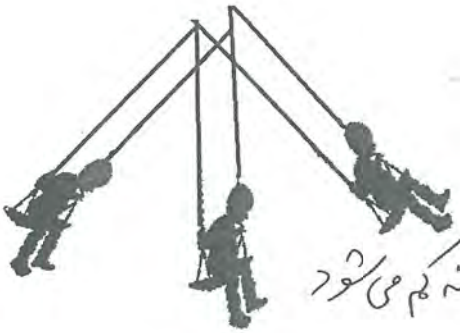

مثال) کدام فرد برای ادامه تاب دادن (هُل دادن) مناسب تر است ؟




فرد A برای ادامه تاب سوار تاب دادن مناسب است زیرا در آن نقطه نیرو max و سرعت برای یک لحظه صفر و جهت حرکت عوض می شود اگر دستان فرد A را هنگام تاب دادن تصور کنید متوجه می شوید دستان او هم حرکت نوسانی دارد یعنی فرد A طوری دستانش را هماهنگ می کند که درست وقتی تاب سوار یک تاب کامل می خورد (نوسان کامل) دست A هم یک نوسان کامل انجام می دهد و مجدداً به تاب سواری رسد فرد A با بسامد f (وادارنده) که درست با بسامد طبیعی تاب برابراست به تاب سوار نیرو وارد می کند و نوسان آزاد تاب به نوسان وادارنده تبدیل می شود و تاب خوردن ادامه می یابد و دامنه افزایش می یابد . فرد B

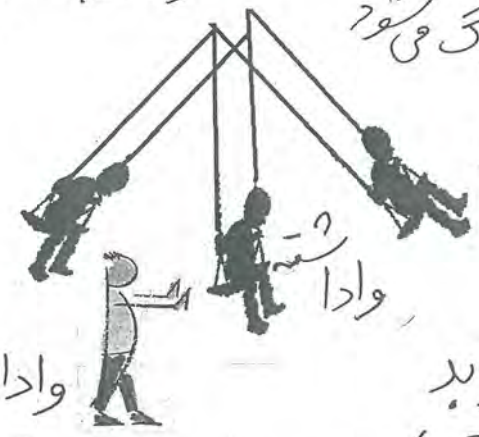
توجه :
تشدید می‌تواند مفید یا مضر باشد
مثلاً" در یک تاب کودک تشدید باعث نوسان می‌شود (رضایت کودک) ولی اگر در زمین لرزه بین فرکانس لرزش زمین و فرکانس طبیعی ساختمان‌ها تساوی رخ دهد، ویران می‌شوند

نوسان آزاد (آرمانی) بدون هرگونه نیروی مقاوم (دامنهٔ ثابت و همواره ادامه دارد) (بسامد طبیعی $f_0$)



نوسان آزاد (واقعی) که نیروی مقاوم وهوا وجود دارد . دامنه کم می‌شود و در مرکز نوسان می‌ایستد (بسامد طبیعی $f_0$)

تشدید رخ می‌دهد
$f_0$ طبیعی $= f_d$ واداشته
دامنه (ثابت و یا) بزرگ می‌شود




تشدید رخ نمی‌دهد
$f_d \neq f_0$
دامنه کاهش می‌یابد (تاب می‌ایستد)

**با هُل دادن تاب، کودک به نوسان واداشته می‌شود.**

بخوانید و پاسخ دهید:

### ۳ـ۴ تشدید

در تمام مثال‌هایی که تا اینجا بررسی کردیم، نوسانگر (مثلاً جرم ـ فنر یا آونگ ساده) با انحراف از وضع تعادل با بسامدی معیّن شروع به نوسان می‌کرد. به بسامد این نوسان‌ها بسامد طبیعی گفته می‌شود. مطابق این تعریف، بسامد طبیعی سامانهٔ جرم ـ فنر $f_0 = \sqrt{k/m}/2\pi$ و بسامد طبیعی آونگ ساده $f_0 = \sqrt{g/L}/2\pi$ است. اما این نوسانگرها می‌توانند با اعمال یک نیروی خارجی، با بسامدهای دیگری نیز به نوسان درآیند. به چنین نوسانی، نوسان واداشته گفته می‌شود و بسامد این نوسان را با $f_d$ نمایش می‌دهند[1]. مثالی از یک نوسان واداشته، تاب خوردن کودکی است که به‌طور دوره‌ای هُل داده می‌شود (شکل ۳ـ۹). نوسان تاب بی‌آنکه در ادامهٔ حرکت هُل داده شود مثالی از یک نوسان آزاد است، به طوری که نوسان‌های تاب، میرا و سرانجام متوقف می‌شود. ولی وقتی شخصی تاب را هُل می‌دهد، او انرژی تلف شده بر اثر اصطکاک و مقاومت هوا را جبران می‌کند و مانع از میراشدن نوسان تاب می‌شود. اگر دامنهٔ نوسان‌های تاب بزرگ‌تر و بزرگ‌تر شود حاکی از آن است که بسامد نوسان‌های واداشته با بسامد طبیعی تاب برابر شده است. در چنین وضعیتی ($f_d = f_0$) اصطلاحاً گفته می‌شود که برای نوسانگر تشدید (رزونانس) رخ داده است. اگر تاب را با بسامدهایی بیشتر یا کمتر از بسامد طبیعی آن هُل دهیم، دامنهٔ نوسان کوچک‌تر از حالتی خواهد شد که آن را با بسامد طبیعی‌اش هل می‌دهیم. پدیدهٔ تشدید را می‌توان با فعالیت سادهٔ زیر بررسی کرد.

① بسامد طبیعی

② نوسان واداشته

③ $f_d$ و $f_0$

④ اگر تاب نوسان کند ولی هُل ندهیم چه نام دارد؟

⑤ اگر تاب نوسان کند و هُل بدهیم چه نام دارد؟ ⑥ نوسان میرا و نوسان غیرمیرا؟ ⑦ وقتی هُل می‌دهیم و اگر

$<=>$ $f_d \square f_0$ دامنهٔ نوسان ثابت بماند

$<=>$ $f_d \square f_0$ دامنهٔ نوسان بزرگ و بزرگتر شود

$<=>$ $f_d \square f_0$ دامنهٔ نوسان کوچکتر شود

⑧ تشدید یا رزونانس را تعریف کنید.

⑨ در سئوال ۷ کدام حالت تشدید است؟

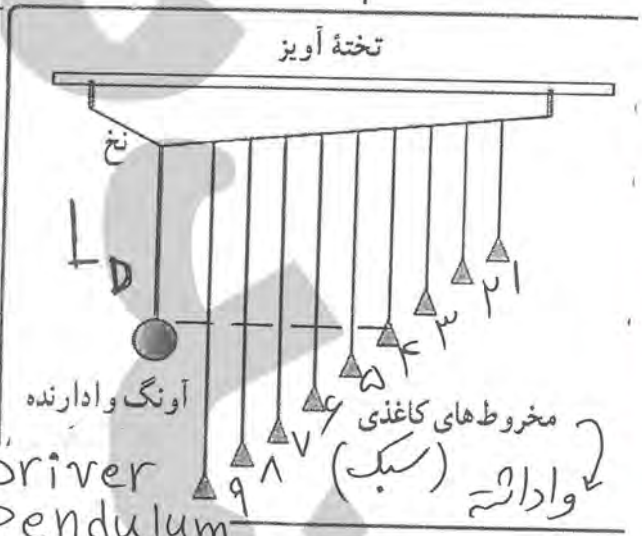
# عقیل اسکندری

ص ۲۲ | ف ۳ | ک ۱۲

## فعالیت ۳ـ۳

آونگ‌های بارتون[۲] : یک آونگ با وزنهٔ سنگین و تعدادی آونگ سبک با طول‌های متفاوت را مطابق شکل سوار کنید. آونگ‌ها روی نخی سوار شده‌اند که هر دو انتهای آن توسط گیره‌هایی به تختهٔ آویز متصل شده است. به آونگ سنگین اصطلاحاً *آونگ وادارنده*[۳] گفته می‌شود، زیرا به نوسان درآوردن این آونگ در صفحهٔ عمود بر صفحهٔ شکل، موجب تاب خوردن نخ آویز و در نتیجه به نوسان واداشتن سایر آونگ‌ها می‌شود. آونگ وادارنده را به نوسان درآورید و آنچه را مشاهده می‌کنید توضیح دهید.

آونگ بارتون دارای یک آونگ وادارنده و چندین آونگ واداشته است




می دانیم در آونگ

$$T_{\text{دوره}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow f_{\text{طبیعی}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$$

اگر از ابعاد گلوله و مخروط‌ها صرف نظر کنیم طول آونگ اصلی با آونگ ۴ برابر است

پس آونگ ۴ و اصلی هم فرکانس خواهند بود $f_{d_{\text{واداشته}}} = f_{0_{\text{طبیعی}}}$ و آونگ ۴ تشدید می‌کند یعنی پس از نوسان درآمدن مدت طولانی به نوسان خود ادامه می دهد. همهٔ آونگهای دیگر هم به نوسان درمی آیند ولی مدت دوام نوسان آنها به این بستگی دارد که طول آنها با طول آونگ اصلی چقدر تفاوت دارد هر قدر این اختلاف طول کمتر باشد بسامد آنها به بسامد آونگ وادارنده نزدیکتر و به حالت تشدید نزدیکتر خواهند بود با فرض $L_{\text{واداشته}} = L_D$

$$\Delta L_{4D} = 0$$

$$\Delta L_{3D} = \Delta L_{5D} < \Delta L_{2D} = \Delta L_{6D} < \Delta L_{1D} = \Delta L_{7D} < \Delta L_{8D} < L_{9D}$$

(وقتی از راست به چپ می رویم به تشدید نزدیکی می شویم و زمان توقف زیاد)

# عقیل اسکندری

ص ۲۳ | ف ۳ | ک ۱۲

## تمرین ۳ـ۳

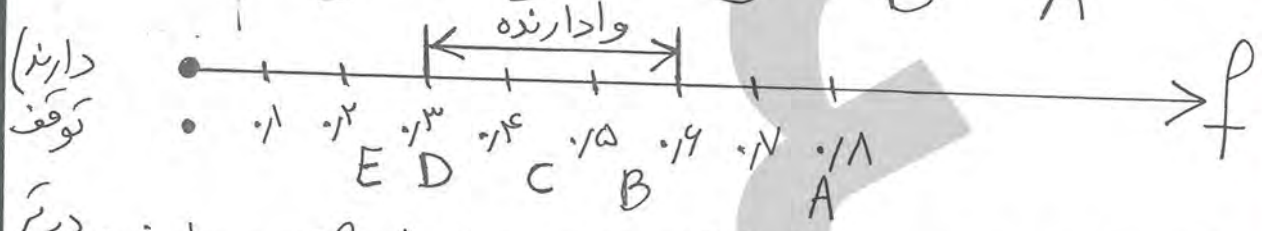
طول تعدادی آونگ ساده که از میله‌ای افقی آویزان‌اند، عبارت‌اند از، ۰/۴۰m، ۰/۸۰m، ۱/۲m، ۲/۸m، ۳/۵m. فرض کنید میله دستخوش نوسان‌هایی افقی با بسامد زاویه‌ای در گسترهٔ ۲/۰rad/s تا ۴/۰rad/s بشود. کدام آونگ‌ها با دامنهٔ بزرگ‌تری به نوسان درمی‌آیند؟ (توجه کنید گرچه تشدید در بسامد مشخصی رخ می‌دهد، اما دامنهٔ نوسان در نزدیک این بسامد همچنان بزرگ است).

$g = \pi^2$

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

$0.31 < f < 0.62$ واداررنده

| طول | ۳/۵ | ۲/۸ | ۱/۲ | ۰/۸ | ۰/۴ | L |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بسامد طبیعی | ۰/۱۶ | ۰/۲۹ | ۰/۴۵ | ۰/۵۵ | ۰/۷۹ | $f_0$ |
| | E | D | C | B | A | |




B و C و D درون بازهٔ تشدید هستند (بیشترین دامنه و دیرتر E بعد از آنها ولی A خیلی از بازه دور است یعنی دامنه خیلی کم و خیلی زود خواهد ایستاد

## پرسش ۳ـ۲

در پی زمین‌لرزهٔ عظیمی (به بزرگی ۸/۱ در مقیاس ریشتر) که در ساحل غربی مکزیک در سال ۱۹۸۵ اتفاق افتاد ساختمان‌های نیمه‌بلند فرو ریختند، ولی ساختمان‌های کوتاه‌تر و بلندتر پابرجا ماندند. علت این پدیده را توضیح دهید.

(ب) (الف)

الف) ساختمان‌های کوتاه و ب) ساختمان‌های بلند، در زمین‌لرزهٔ مکزیکوسیتی بر جای ماندند.

در آن زمین لرزه فرکانس نیروی خارجی (واداررنده) طوری بوده که اگر فرکانس طبیعی ساختمان های میان مرتبه را حساب می‌کردیم به آن عدد نزدیک بوده یعنی ساختمان‌های بلندمرتبه و یا کوتاه مرتبه تشدید نکردند (تشدید متوسط‌ها)

### ۳ـ۵ موج و انواع آن

هر گاه در ناحیه‌ای از یک محیط کشسان، ارتعاشی به‌وجود آید، موجب پدید آمدن ارتعاش‌های پی‌درپی دیگری می‌شود که از محل شروع ارتعاش دور و دورترند، و به این ترتیب آنچه را که موج می‌نامند به‌وجود می‌آید. موج‌ها را عموماً به دو دسته تقسیم‌بندی می‌کنند: موج‌های مکانیکی و موج‌های الکترومغناطیسی. موج‌های مکانیکی ـ مانند موج‌های روی سطح آب (شکل ۳ـ۱۰) و موج‌های صوتی ـ برای انتشار خود به یک محیط مادی نیاز دارند، و موج‌های الکترومغناطیسی ـ مانند نور مرئی، موج‌های رادیویی و تلویزیونی، میکروموج و پرتوهای x ـ برای انتشار خود به محیط مادی نیاز ندارند.

به‌رغم متفاوت بودن منشأ امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی، همگی آنها مشخصه‌های یکسانی دارند و رفتار آنها از قاعده‌هایی کلی پیروی می‌کند که در هر پدیدهٔ موجی برقرار است.

شکل ۳ـ۱۰ با پرتاب سنگ در آب، فرورفتگی‌ها و برآمدگی‌هایی دایره‌ای شکل بر سطح آب پخش می‌شوند.

بخوانید و پاسخ دهید

① برای تولید موج (مکانیکی) محیط باید ..... باشد.

② چگونه موج تولید می‌شود؟

③ دو نوع موج ..... و .....

④ موج صوتی و موج روی سطح آب از نوع .....

فرورفتگی و برآمدگی از نشانه‌های موج عرضی است

⑤ موج مکانیکی برای انتشار به محیط مادی نیاز (دارد ـ ندارد)

⑥ موج الکترومغناطیسی برای انتشار به محیط مادی نیاز .....

⑦ موج نور مرئی ـ رادیویی ـ تلویزیونی ـ میکروموج و پرتوهای x همگی از گروه موج‌های ..... هستند.

⑧ منشأ موج‌های مکانیکی و الکترومغناطیسی یکسان (هست ـ نیست) و این دو نوع موج مشخصه‌های یکسان (دارند ـ ندارند) و رفتار کلی آنها از قاعده‌های موجی پیروی (می‌کند ـ نمی‌کند)

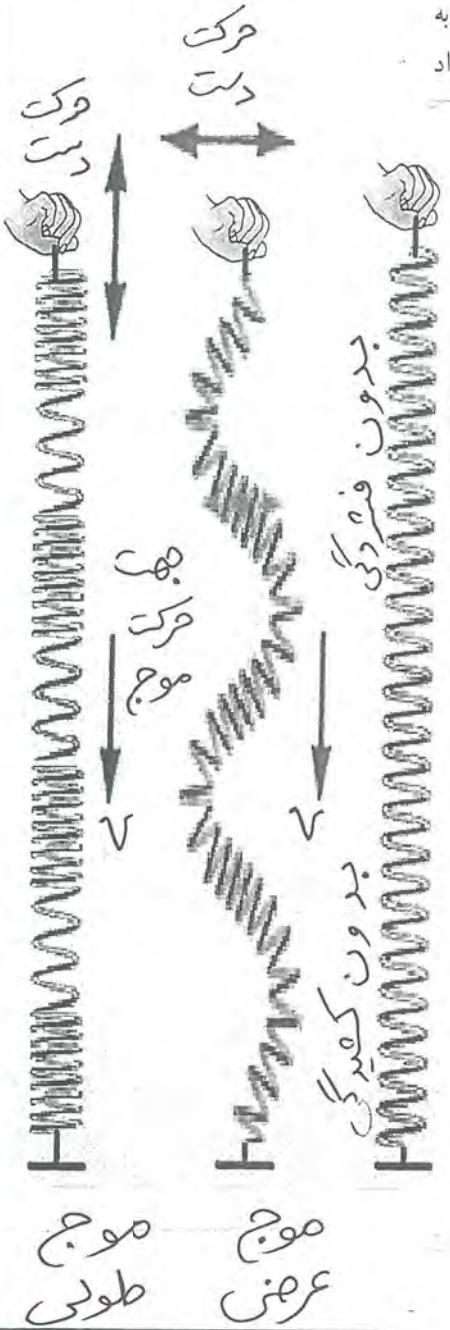
توجه: تقسیم بندی اصلی امواج الکترومغناطیس بعداً گفته می‌شود

توجه: طول یا عرض بودن تقسیم بندی دیگری برای موج است

تا این لحظه:
موج مکانیکی (نیاز به محیط مادی) ← صوت و سطح آب
موج الکترومغناطیسی (عدم نیاز به محیط مادی) ← نور مرئی و...

اگر مانند شکل ۳ـ۱۱ یک سر فنر بلند[1] کشیده شده‌ای را به‌سرعت به چپ و راست تکان دهید، موجی به شکل یک تپ در طول فنر منتشر می‌شود. وقتی سرِ آزاد فنر را مانند شکل ۳ـ۱۲ رو به بالا حرکت می‌دهید، بخش مجاور آن نیز از طریق کشش بین این دو بخش شروع به بالا رفتن می‌کند. وقتی بخش مجاور به بالا حرکت کند، این بخش نیز به نوبهٔ خود شروع به بالا کشیدن بخش بعدی می‌کند و این روند ادامه می‌یابد. به همین ترتیب، پایین کشیدن سر آزاد

فنر اسلینکی
Slinky

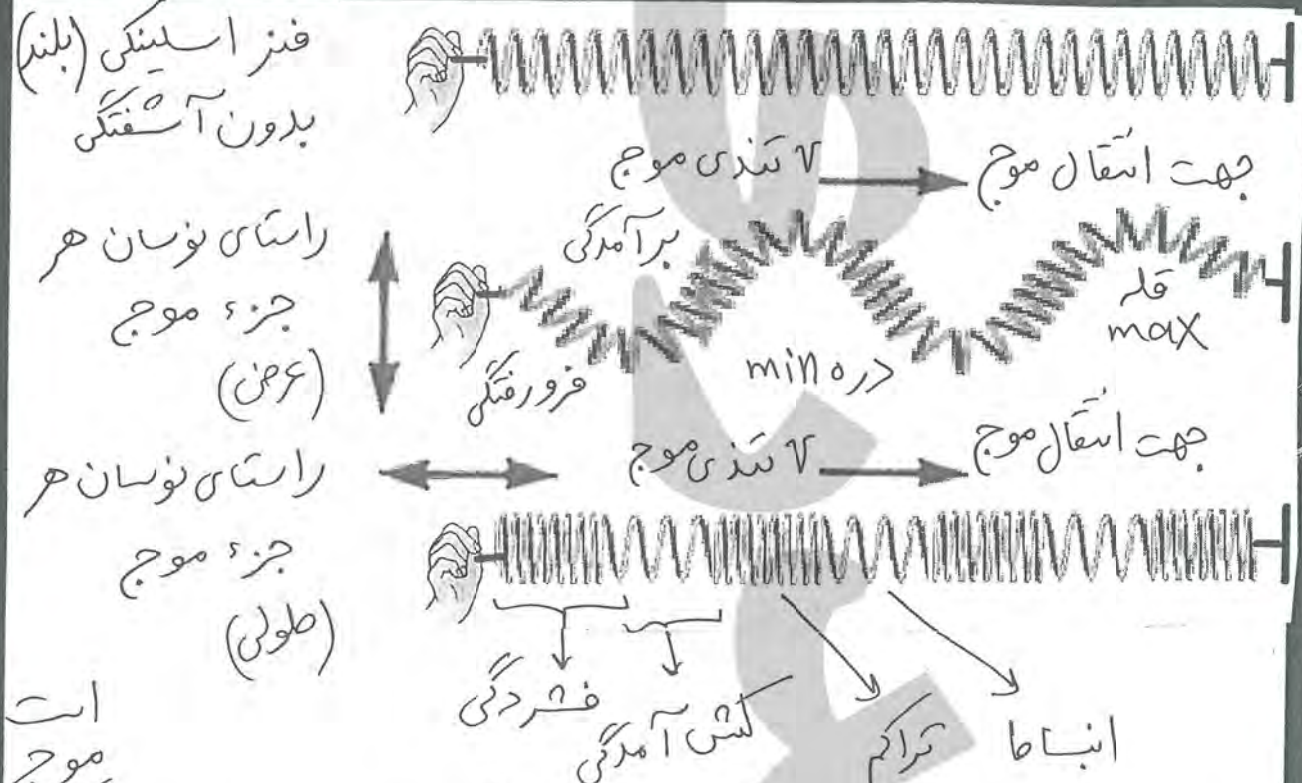



فنر موجب پایین کشیده شدن بخش‌های بعدی فنر می‌شود، و بدین ترتیب آشفتگی‌ای در شکل فنر ایجاد می‌شود که با تندی $v$ در طول فنر حرکت می‌کند. اگر دست خود را پیاپی به بالا و پایین حرکت دهید یک موج پیوسته با تندی $v$ در طول فنر به حرکت درمی‌آید: اگر به حرکت جزئی از فنر که در هنگام عبور موج به بالا و پایین نوسان می‌کند دقت کنید درمی‌یابید جابه‌جایی هر جزء نوسان‌کننده‌ای از فنر، عمود بر جهت حرکت موج است، که به آن، موج عرضی گفته می‌شود.

از این فنر بلند می‌توان برای ایجاد نوع دیگری از موج موسوم به موج طولی نیز استفاده کرد. اگر این بار، سرِ آزاد فنر را به جای اینکه به بالا و پایین یا به چپ و راست حرکت دهید، به‌سرعت به جلو و عقب ببرید، یک تپ در طول فنر به راه می‌افتد (شکل ۳ـ۱۳) و اگر دست خود را پیاپی به جلو و عقب حرکت دهید یک موج طولی پیوسته با تندی $v$ در طول فنر به حرکت درمی‌آید. اگر به حرکت جزئی از فنر که در هنگام عبور این موج به چپ و راست نوسان می‌کند دقت کنید، درمی‌یابید جابه‌جایی هر جزء نوسان‌کننده‌ای از فنر در راستای حرکت موج است (شکل ۳ـ۱۴). به همین دلیل است که به چنین موجی، موج طولی می‌گویند.

به موج‌های عرضی و طولی که تا اینجا بررسی شد، موج‌های پیش‌رونده گفته می‌شود. زیرا، هر دوی این موج‌ها از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر حرکت کرده و انرژی را با خود منتقل می‌کنند. توجه کنید *این موج است که از یک سر به سر دیگر حرکت می‌کند نه ماده‌ای (در مثال‌های بالا فنر) که موج در آن حرکت می‌کند.* همچنین دریافتید که برای ایجاد چنین امواجی به یک جسم (چشمهٔ) نوسانی نیاز دارید و موج از این چشمه دور می‌شود، و اگر چشمه به‌طور هماهنگ ساده نوسان کند، اجزای محیط حول نقطهٔ تعادل خود با همان بسامد چشمه نوسان می‌کنند.

| عقیل اسکندری | ص ۲۶ | ف ۳ | ک ۱۲ |
|---|---|---|---|



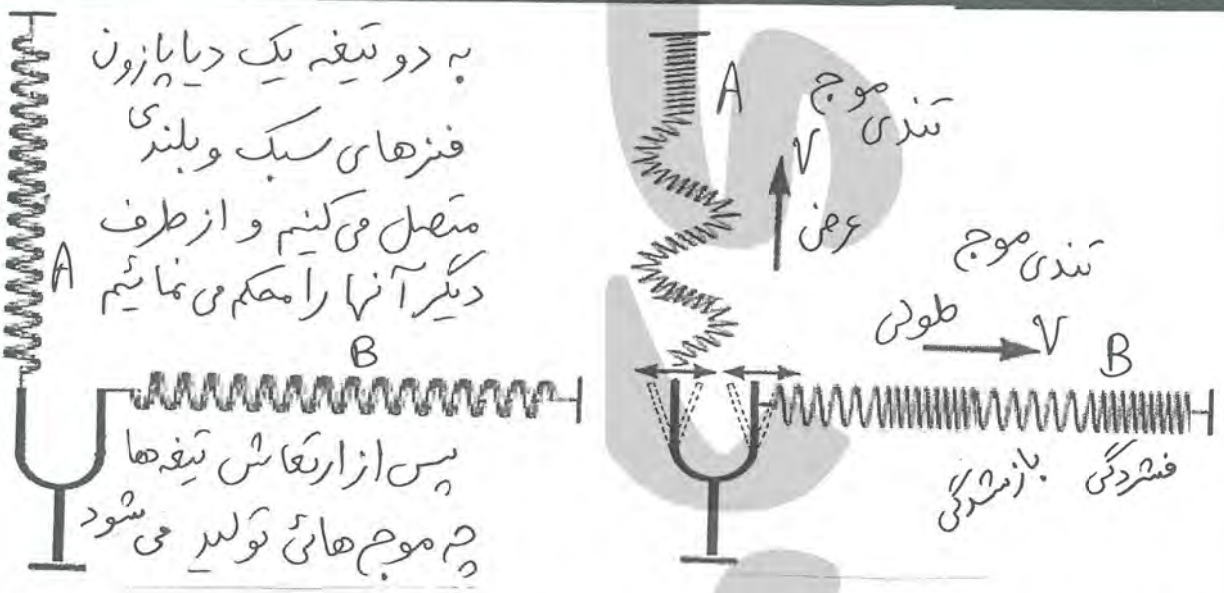

موج عرضی : جابه جائی هر جزء نوسان کننده عمود بر جهت حرکت موج است

موج طولی : جابه جائی هر جزء نوسان کننده در راستای حرکت موج است

تپ : هرگاه در محیط تنها یک آشفتگی ایجاد کنیم تپ تولید می شود بدیهی است که یک موج از تپ های پی در پی تولید می گردد

---

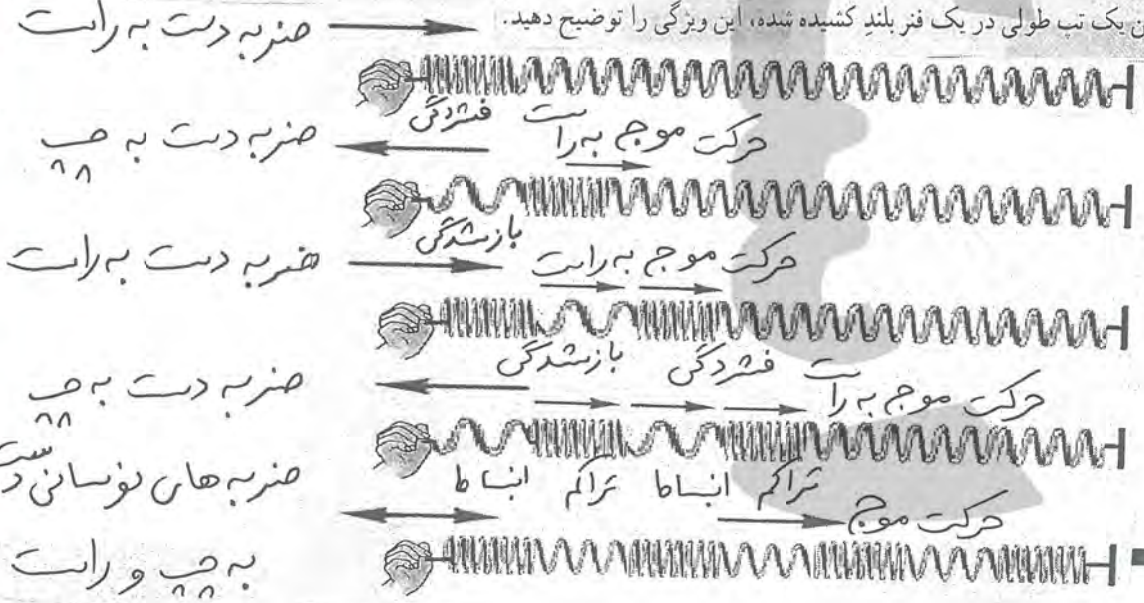
موج در فنر (مکانیکی) چ طولی و چ عرضی فرض ندارد دارای این مشخصات است : ① پیش رونده (حرکت از یک نقطه به نقطه دیگر) ② حامل انرژی هستند ولی محیط را حمل نمی کنند مثلاً در فنر مانند حرکت رودخانه شاهد حرکت حلقه ها نیستیم بلکه فقط حلقه ها نوسان میکنند (ارتعاش) دارند . ③ باید یک منبع یا چشمه نوسانی این امواج را تولید کند واگر چشمه هماهنگ ساده داشته باشد تمام اجزاء موج هم همان بسامد را خواهند داشت



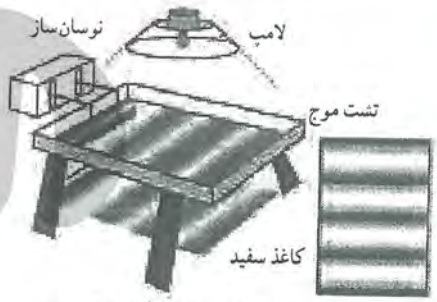

تیغه‌ها به چپ و راست مرتعش شده‌اند (نوسان ساده و سریع) در فنر A راستای نوسان تیغه‌ها عمود بر طول فنر است بنابراین در طول فنر قله و دره (برآمدگی و فرورفتگی) تولید می‌شود و در A موج عرضی است. در فنر B راستای ارتعاش تیغه‌ها در راستای طول فنر می‌باشد یعنی فشردگی و کشیدگی (تراکم و انبساط) خواهیم داشت پس در B موج طولی است.

**پرسش ۳ـ۳**

همان‌طور که گفتیم یکی از ویژگی‌های موج پیش‌رونده انتقال انرژی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر، در جهت انتشار موج است. با در نظر گرفتن یک تپ طولی در یک فنر بلندِ کشیده شده، این ویژگی را توضیح دهید.



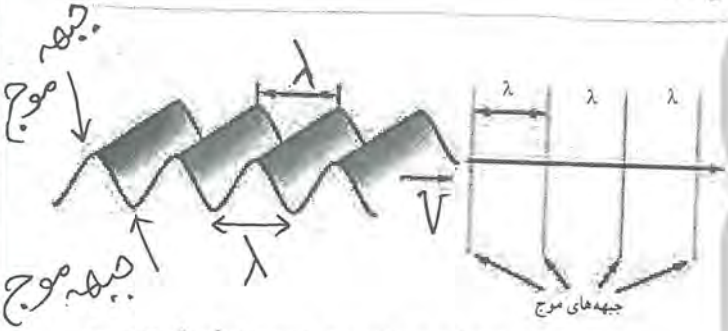
## ۳ـ۶ مشخصه‌های موج



شکل ۳ـ۱۵ طرحی از دستگاه تشت موج

برای مطالعهٔ برخی از مشخصه‌های موج از وسیله‌ای موسوم به تشت موج[1] استفاده می‌شود. طرح ساده‌ای از این وسیله در شکل ۳ـ۱۵ نشان داده شده است. این وسیله شامل یک تشت شیشه‌ای کم‌عمق و یک نوسان‌ساز است. یک راه مشاهدهٔ رفتار موج، استفاده از سایه‌ای است که توسط لامپ از سطح آب داخل تشت بر ورقهٔ کاغذیِ زیر تشت تشکیل می‌شود. برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های موج روی سطح آب، به‌وضوح در سایهٔ تشکیل شده بر ورقهٔ کاغذ دیده می‌شود. اگر مانند شکل ۳ـ۱۵، تیغه‌ای را بر سطح آب به نوسان درآوریم، موجی تخت بر سطح آب تشکیل می‌شود و اگر به جای تیغه از یک گوی کوچک استفاده کنیم به یک موج دایره‌ای می‌رسیم که از نقطهٔ تماس با سطح آب در تمام جهت‌ها حرکت می‌کند (شکل ۳ـ۱۶). در هر دو حالت، به هر یک از برآمدگی‌ها یا فرورفتگی‌های ایجادشده روی سطح آب، یک جبههٔ موج می‌گویند. به برآمدگی‌ها، قلّه (ستیغ) و به فرورفتگی‌ها درّه (پاستیغ) گفته می‌شود. فاصلهٔ بین دو برآمدگی یا دو فرورفتگی مجاور، طول‌موج نامیده می‌شود و آن را با λ نشان می‌دهند (شکل ۳ـ۱۷). طول‌موجِ λ برابر با مسافتی است که موج در مدت دورهٔ تناوب نوسان چشمه طی می‌کند.

شکل ۳ـ۱۶ تشکیل امواج دایره‌ای بر سطح آب یک تشت موج



شکل ۳ـ۱۷ طرحی از تشکیل جبهه‌های موج تخت بر سطح آب یک تشت موج. جبهه‌های موج، روشی مناسب برای نمایش یک موج پیش‌رونده هستند.

نکته‌ها

① برآمدگی (قله) و فرورفتگی (دره) نشانه موج عرضی است

② در تشت موج که موج در سطح آب تشکیل می‌شود، موج عرضی است

③ فاصله دو قله مجاور هم و یا دو دره مجاور هم با یک طول موج برابر است (چه جبهه‌ها دایره‌ای و چه جبهه‌ها تخت باشند)

④ قله (برآمدگی = ستیغ) و دره (فرورفتگی = پاستیغ)

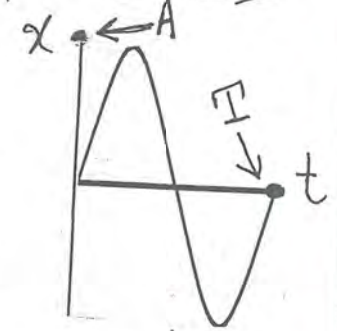
⑤ طول موج مسافتی است که موج در زمان دوره تناوب طی می‌کند

موج حرکت یکنواخت دارد $\Delta x = Vt$

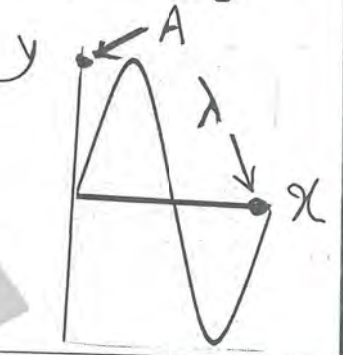
$\left(T = \frac{1}{f}\right)$ $\lambda = VT \longrightarrow \lambda = V/f$

خیلی خیلی مهم

با استفاده از آنچه برای موج سطحی در تشت موج آموختیم سایر مشخصه‌های این موج را نیز می‌توانیم معرفی کنیم.




- دامنه ($A$) : بیشینهٔ فاصلهٔ یک ذره از مکان تعادل، *دامنهٔ موج* نامیده می‌شود که همان فاصلهٔ قله یا دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است.
- دورهٔ تناوب ($T$) : مدت زمانی که هر ذرهٔ محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد *دورهٔ تناوب* موج نامیده می‌شود که برابر با زمانی است که چشمهٔ موج یک نوسان کامل انجام می‌دهد.
- بسامد ($f$) : تعداد نوسان‌های انجام شده توسط هر ذرهٔ محیط در یک ثانیه *بسامد* موج نامیده می‌شود که برابر با بسامد چشمهٔ موج نیز هست. بنابراین $f=\frac{1}{T}$.
- تندی انتشار موج ($v$) : اگر جبههٔ موج در مدت $\Delta t$ مسافت $L$ را طی کند، تندی انتشار موج از رابطهٔ $v=\frac{L}{\Delta t}$ به‌دست می‌آید. از آنجا که طول‌موج $\lambda$ در دورهٔ $T$ طی می‌شود، داریم :




$$v=\frac{\lambda}{T}=\lambda f \qquad \text{(تندی انتشار موج)} \qquad (۳_۹)$$

- تجربه و محاسبات نظری نشان می‌دهد که تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی دارد.

### ○ مثال ۳ـ۵

امواج دایره‌ای تشکیل شده بر سطح آب تشت موج شکل ۳ـ۱۶ را در نظر بگیرید. آزمایش نشان داده است اگر گوی متحرک با دورهٔ تناوب ۱/۰ s در تشتی به عمق ۲/۵ cm نوسان کند، فاصلهٔ بین دو برآمدگی مجاور ۵۰ cm و اگر در تشتی به عمق ۳/۵ cm نوسان کند، این فاصله ۶۰ cm می‌شود. تندی انتشار موج سطحی در این تشت در هر حالت چقدر است؟ از این محاسبه چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

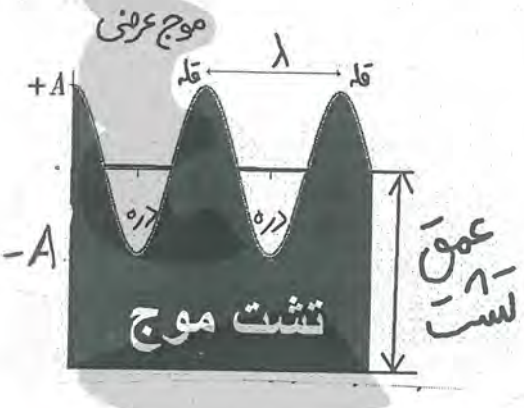
پاسخ : فاصلهٔ دو برآمدگی مجاور، طول‌موج است و همان‌طور که پیش‌تر گفتیم دورهٔ تناوب موج برابر با دورهٔ تناوب نوسان‌های چشمهٔ موج است.

$$v_1=\frac{\lambda_1}{T}=\frac{۰/۵۰\,\text{m}}{۱/۰\,\text{s}}=۰/۵۰\,\text{m/s} \qquad v_2=\frac{\lambda_2}{T}=\frac{۰/۶۰\,\text{m}}{۱/۰\,\text{s}}=۰/۶۰\,\text{m/s}$$

از اینجا درمی‌یابیم که تندی انتشار موج سطحی روی اب‌های کم‌عمق، به عمق آب که یکی از ویژگی‌های محیط انتشار موج است بستگی دارد.

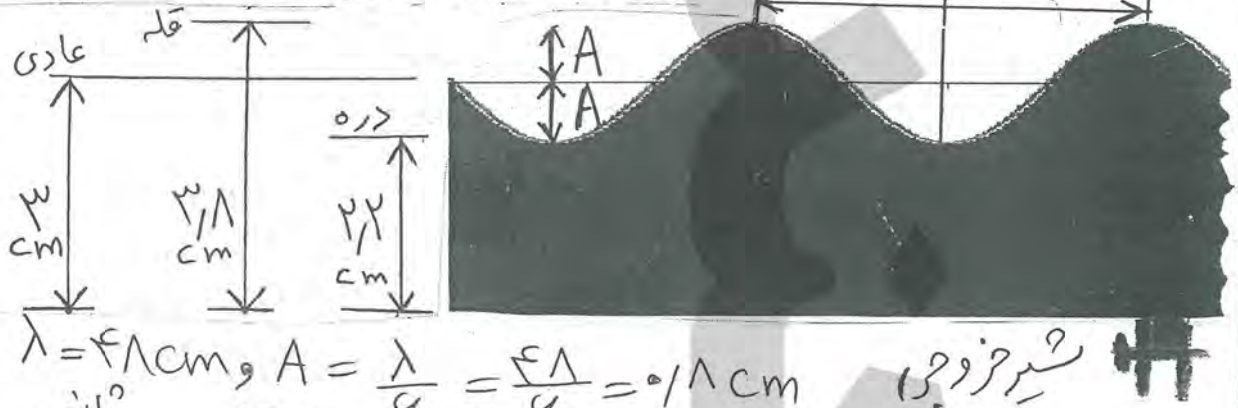
عمق ۲/۵ cm → $v_1=۰/۵$ ، عمق ۳/۵ cm → $v_2=۰/۶$ m

یعنی برای حالت‌های کم عمق با افزایش عمق، سرعت (تندی) موج زیاد می‌شود



مثال) در یک آزمایش تشت موج به عمق ۳ cm فاصله یک قله تا دره مجاورش ۲۴ cm و تیغه هر دو ثانیه ۴ ضربه بر سطح آب وارد می کند اگر طول موج ۶۰ برابر اندازه دامنه باشد فاصله یک دره یا یک قله تا کف ظرف چند cm است؟ تندی موج چند است؟

اگر شیر خروجی را برای مدتی محدود باز کنیم طول موج چه تغییری می کند؟



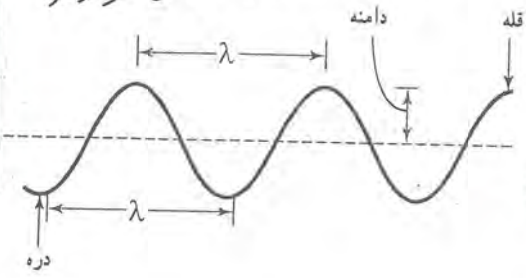

$\lambda = 48\,cm$ و $A = \frac{\lambda}{60} = \frac{48}{60} = 0/8\,cm$ شیر خروجی

$\frac{\text{۲ ثانیه}}{T} = \frac{\text{۴ نوسان}}{1} \rightarrow T = 0/5\,s$ و $\lambda = VT \rightarrow V = \frac{48}{0/5} = 96\,\frac{cm}{s}$

وقتی شیر باز شود، عمق آب در تشت کم می شود و سرعت (تندی) موج کم می شود و چون $T$ ثابت است $\lambda$ کم می شود قله ها نزدیکتر

**موج عرضی و مشخصه‌های آن:** موج روی سطح آب، که در بالا بررسی کردیم، نمونه‌ای تقریبی از موج عرضی است. اگر یک سر فنر بلند کشیده‌شده‌ای را با حرکت هماهنگ ساده، پیاپی به بالا و پایین حرکت دهید موج عرضی پیوسته‌ای در طول فنر منتشر می‌شود (شکل ۳ـ۱۸ الف). امواج عرضی، همانند موج عرضی ایجاد شده در این فنر، در هر لحظه از زمانِ انتشار موج را می‌توان با شکل موجی سینوسی مانند شکل ۳ـ۱۸ ب مدل‌سازی کرد. در این شکل طول موج و دامنهٔ این موج عرضی، نیز نشان داده شده است.

قبلا "گفته شد در حالت کلی به تابع های sin و cos سینوسی می گوییم

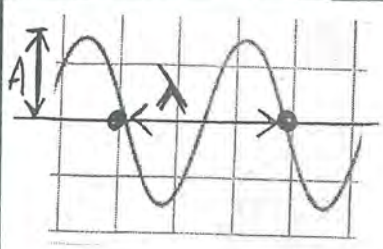



(قله ⟷ قله) λ
(دره ⟷ دره) λ
(دره ⟷ قله) λ/۲

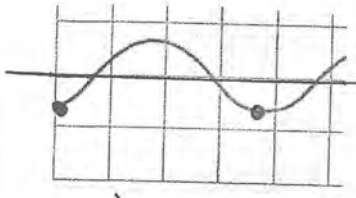
# عقیل اسکندری

## ○ پرسش ۳ـ۴

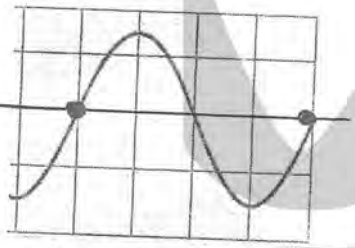
شکل روبه‌رو موجی عرضی را نشان می‌دهد. دامنه و طول‌موج هر کدام از شکل موج‌های الف)، ب)، و پ) را با دامنه و طول‌موج این شکل مقایسه کنید.



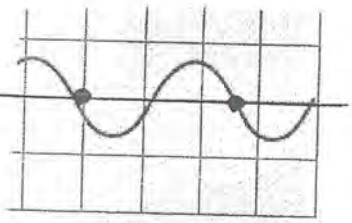

$\lambda = ۳$
$A = ۱/۵$



$\lambda \approx ۳/۸$
$A \approx ۰/۸$

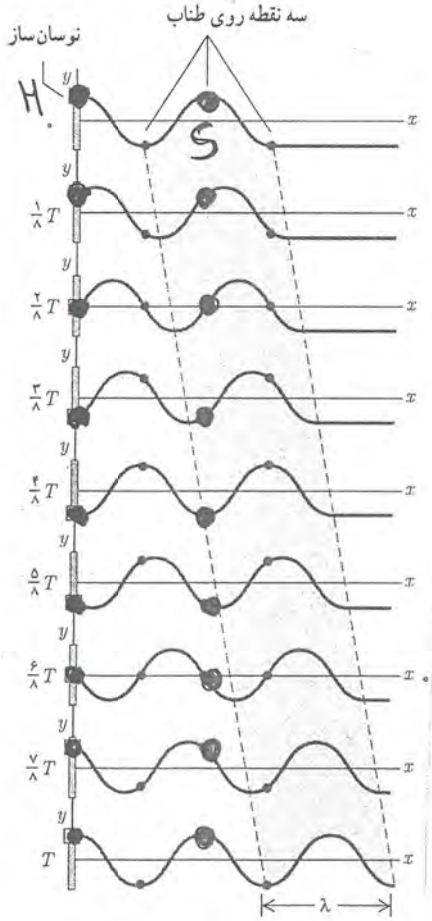


$\lambda = ۴$
$A \approx ۱/۵$



$\lambda \approx ۲/۵$
$A \approx ۰/۸$

---




شکل ۳ـ۱۹ نُه عکس لحظه‌ای از یک موج عرضی منتشر شده در یک تار کشیده شده

در شکل روبرو روی محور ل ها یک ذره توسط نوسان ساز (چشمه موج) یک نوسان کامل انجام می دهد (H) (۱۸) جلوتر اگر به رفتار نقطه S نگاه کنیم این نقطه هم یک نوسان کامل انجام می دهد یعنی با H پایین می رود و با H بالا می آید جالب اینکه در یک نوسان کامل موج به اندازه ۱۸ جلوی رود نکته بعدی این است که وقتی موج به راست می رود نقطه S از بالا به پایین می آید و در ادامه نوسان کامل می شود

همان‌طور که پیش از این گفتیم تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی دارد. برای مثال، تندی انتشار موج عرضی در یک فنر، تار یا ریسمان کشیده به نیروی کشش ($F$) و چگالی خطی جرم ($\mu = m/L$) بستگی دارد و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad (۳\text{ـ}۱۰)$$ (تندی انتشار موج عرضی در تار یا فنر)

تندی انتشار موج به چه بستگی دارد؟ → در یک میله یا فنر یا تار یا سیم کشیده

$v$ تندی انتشار موج عرضی
$F$ نیروی کشش
$\mu$ چگالی خطی جرم $= \left(\frac{\text{جرم}}{\text{طول}}\right) \frac{m}{L} = \left(\frac{kg}{\text{متر}}\right)$

### مثال ۳ـ۶

فنری به جرم ۰/۶۰kg و طول ۴/۰m را با نیروی ۱/۲N می‌کشیم. 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 ۱/۰m شود؟

پاسخ: الف) با استفاده از رابطهٔ ۳ـ۱۰ تندی انتشار موج را به‌دست می‌آوریم. در اینجا $F = ۱/۲\text{N}$ است و چگالی خطی جرم برابر است با:

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{۰/۶۰\,\text{kg}}{۴/۰\,\text{m}} = ۰/۱۵\,\text{kg/m}$$

بنابراین تندی انتشار $v$ چنین می‌شود:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۱/۲\,\text{N}}{۰/۱۵\,\text{kg/m}}} = ۲/۸۳\,\text{m/s} \simeq ۲/۸\,\text{m/s}$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۳ـ۹ بسامد $f$ را به‌دست می‌آوریم:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{۲/۸۳\,\text{m/s}}{۱/۰\,\text{m}} = ۲/۸۳\,\text{Hz} \simeq ۲/۸\,\text{Hz}$$

### تمرین ۳ـ۴

در سازهای زهی همانند تار، کمانچه و گیتار با سفت یا شُل کردن تار، تندی انتشار موج عرضی در تار تغییر می‌کند. در یک گیتار طول هر تار بین دو انتهای ثابت ۰/۶۲۸m است. برای نواختن بالاترین بسامد، جرم تار ۰/۲۰۸g و برای نواختن پایین‌ترین بسامد، جرم تار ۳/۳۲g است. تارها تحت کششی برابر ۲۲۶N قرار دارند. تندی انتشار موج برای ایجاد این دو بسامد چقدر است؟

$\mu = \frac{m}{L}$ → $\mu_1 = \frac{۰/۲۰۸}{۰/۶۲۸} \times ۱۰^{-۳}$
$\mu_2 = \frac{۳/۳۲}{۰/۶۲۸} \times ۱۰^{-۳}$

می‌توان: $V = \sqrt{\frac{FL}{m}}$

$V = \sqrt{F/\mu}$ → $v_1 = ۸۲۶$ و $v_2 = ۲۰۶/۷$

یادآوری : در جامدات مثل فنر هم موج عرضی و هم موج طولی منتشر می‌شود (مثال ص ۲۷ را مرور کنید)

یادآوری : در سطح مایع (مانند آب) موج عرضی منتشر می‌شود (مثال ص ۳۰ را مرور کنید)

توجه : در گازها موج فقط طولی منتشر می‌شود (صوت در هوا)

**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 به‌صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در ریسمان انتقال می‌یابد. انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل لازم برای حرکت و کشیدگی هر جزء ریسمان یا فنر را شخصی 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 همهٔ انواع امواج مکانیکی با مربع دامنه ($A^2$) و نیز مربع بسامد ($f^2$) موج متناسب است.

① هر موجی دارای انرژی است درست غلط

② وقتی در ریسمان یا فنر انرژی وارد می‌کنیم این انرژی به صورت ☐ پتانسیل ☐ جنبشی منتقل می‌شود

③ برای انتشار دائمی موج باید یک سر آن را برای مدتی ☐ دائماً ☐ به نوسان درآورد

یادآوری : در مبحث نوسان ساده دیدیم :

$$E = \frac{1}{2}KA^2 = \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = \frac{1}{2}m(2\pi f)^2A^2$$

در موج مکانیکی (از هر نوع که باشد فرقی ندارد) می‌توان ثابت کرد مقدار متوسط توان (آهنگ انتقال انرژی)

$$\bar{P} \propto f^2A^2$$

# عقیل اسکندری

ص ۳۴ | ف ۳ | ک ۱۲

**امواج الکترومغناطیسی** : در کتاب فیزیک ۲ 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 رابطهٔ متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به‌وجود 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 به‌وجود می‌آورد. این رابطهٔ متقابل میدان‌ها سبب انتقالِ نوسان‌های میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی از یک نقطهٔ فضا به نقاط دیگر و یا همان انتشار موج الکترومغناطیسی می‌شود. ایجاد میدان الکتریکی به علت تغییر میدان مغناطیسی همان القای الکترومغناطیسی است که در سال ۱۸۳۱ میلادی توسط مایکل فاراده به‌طور تجربی کشف شد و در کتاب فیزیک ۲ با آن آشنا شدید. پدیدهٔ معکوس این اثر، یعنی تولید میدان مغناطیسی بر اثر تغییر میدان الکتریکی بعدها توسط جیمز کلارک ماکسول، فیزیک‌دان انگلیسی، در سال ۱۸۶۵ میلادی پیش‌بینی شد. ماکسول از این دو پدیده نتیجه گرفت که امواج الکترومغناطیسی باید لزوماً ناشی از تغییرات هم‌زمانِ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی (اصطلاحاً میدان الکترومغناطیسی) باشد. شکل ۳ـ۲۰، یک موج الکترومغناطیسی سینوسی را در لحظه‌ای از زمان و در نقطه‌ای دور از چشمهٔ تولید موج نشان می‌دهد.

بخوانید و پاسخ دهید

① بار ساکن
- ☐ میدان E
- ☐ میدان B
- ☐ میدان B و E
- تولید می‌کند

② بار متحرک
- ☐ میدان E
- ☐ میدان B
- ☐ میدان B و E
- تولید می‌کند

③ بار متحرک یعنی .....

④ جریان ثابت
- ☐ میدان E متغیر
- ☐ میدان B متغیر
- ☐ میدان E و B متغیر
- ☐ میدان E و B ثابت

⑤ اگر میدان E متغیر باشد میدان B متغیر تولید می‌شود ☐ درست ☐ غلط

⑥ اگر میدان B متغیر باشد میدان E متغیر تولید می‌شود ☐ درست ☐ غلط

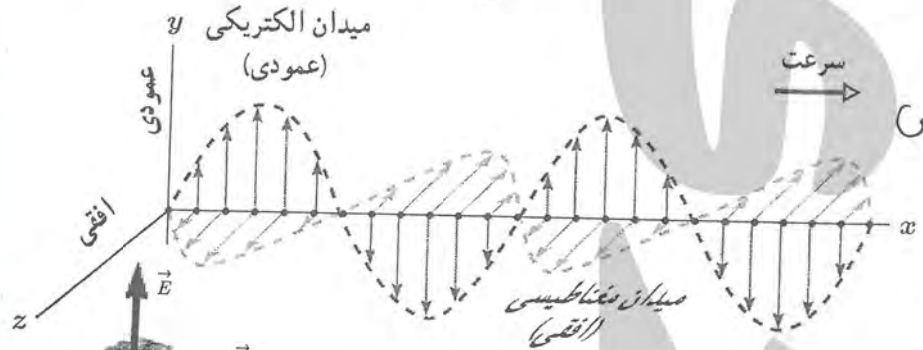
⑦ توجه : مایکل فاراده القای الکترومغناطیسی را کشف کرد $\Delta B \rightarrow$ تولید E

ماکسول : $\Delta E \rightarrow$ تولید B

(امواج الکترومغناطیس را توجیه کرد)

⑧ ماکسول متوجه شد امواج الکترومغناطیس لزوماً ناشی از تغییرات هم‌زمان E و B (میدان الکترومغناطیس) می‌باشند

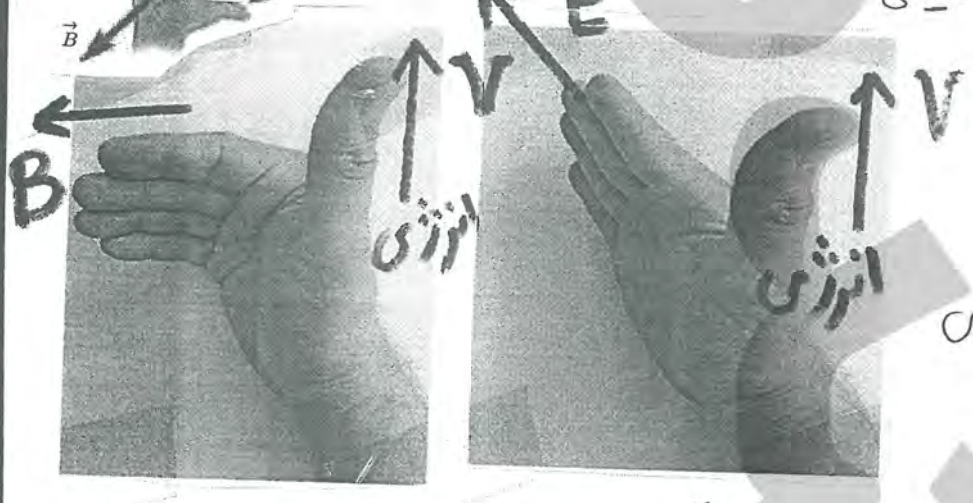
نمایش لحظه‌ای موج الکترومغناطیسی




E میدان الکتریکی

B میدان مغناطیسی

V جهت انتشار موج الکترومغناطیس




توجه: برای تولید موج الکترومغناطیس باید:
میدان های E و B هم زمان تولید و تغییر کنند (هم فاز باشند)
خارج از متن

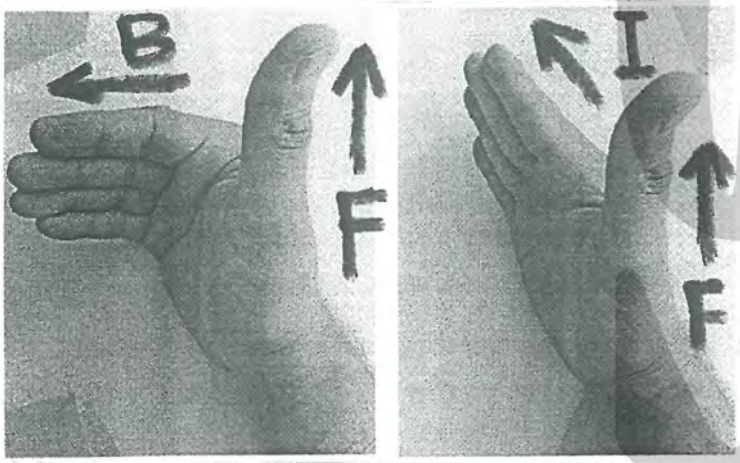
یعنی وقتی $E=0 \leftarrow B=0$

$E=max \leftarrow B=max$

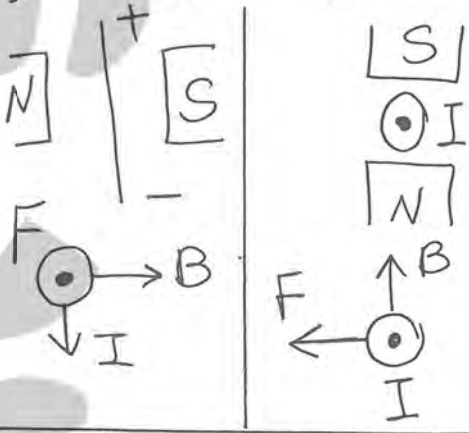
در ضمن E و B برهم عمود باشند و هردو متناوب (سینوسی)

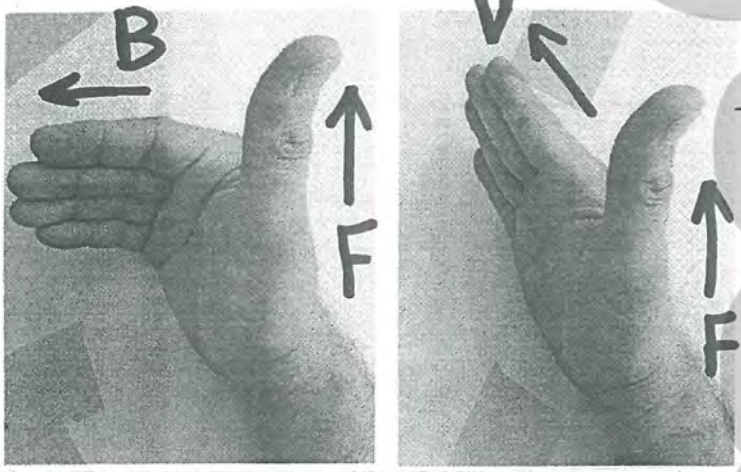
توجه: در الگوی بالا V جهت انتشار موج الکترومغناطیس را نمایش می دهد (به زبان ساده همان طرف که نوک حرکت می کند و انرژی را پیش می برد)

برون سو  درون سو

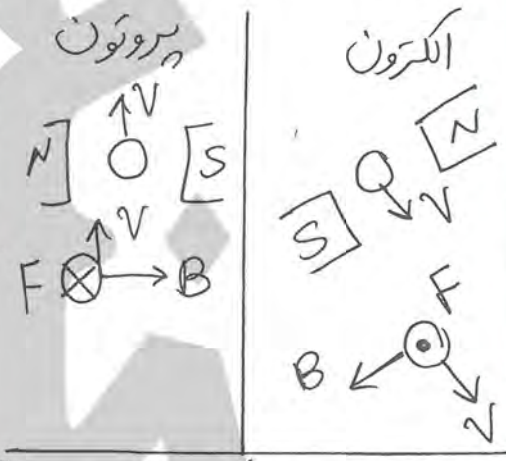


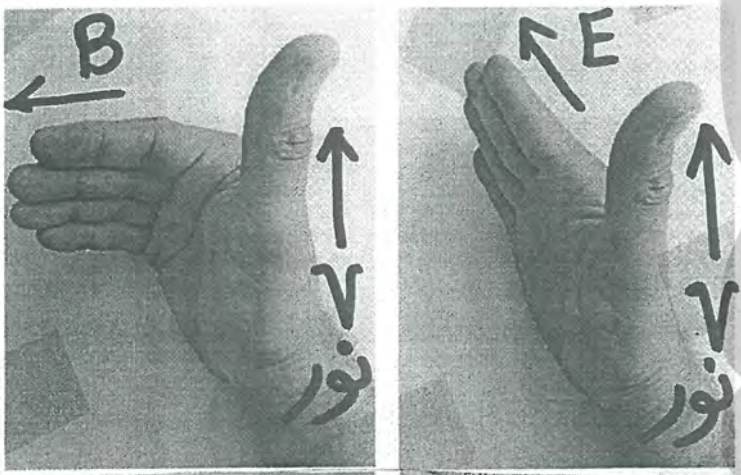

قاعده دست راست
برای نیروی سیم حامل جریان



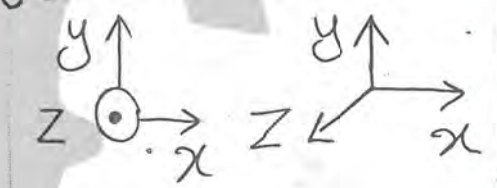




نیروی وارد بر بار متحرک

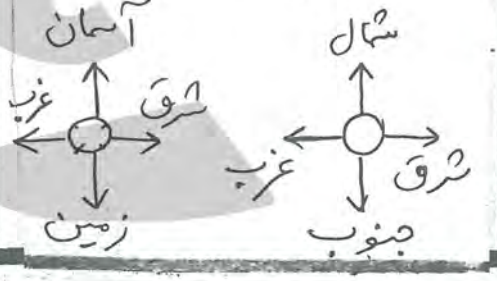



انتشار موج الکترومغناطیس



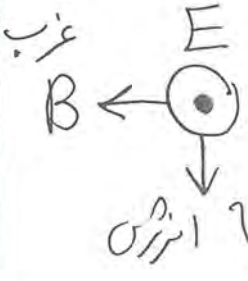
قرارداد



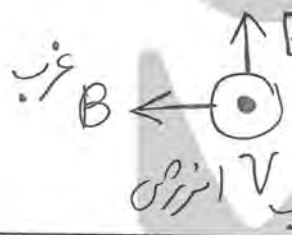

• آسمان × زمین  × شمال • جنوب

① اگر نور به طرف جنوب حامل انرژی باشد و میدان الکتریکی رو به بالا باشد B در چه جهتی است؟

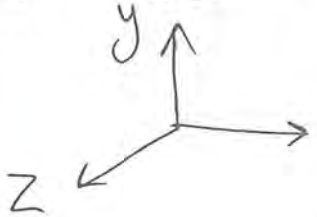
روش اول

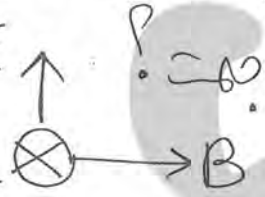



روش دوم




② میدان مغناطیسی موافق x و میدان الکترومغناطیسی مخالف Z میدان الکتریکی کدام جهت؟




الکترومغناطیسی (انرژی) (-z)

خیلی مهم

ویژگی مشترک همهٔ امواج الکترومغناطیسی

چند مشخصهٔ بارز چنین موجی به قرار زیر است:

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

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

۳ـ میدان‌ها با بسامد یکسان و همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند. (هم فاز بودن)

حامل انرژی هستند ـ برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند و از خلأ هم می‌گذرند ـ مکانیکی نیستند ـ سرعت همهٔ آنها (گاما و اکس و مرئی و ....) در خلأ یکسان است $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ (رابطهٔ ماکسول)

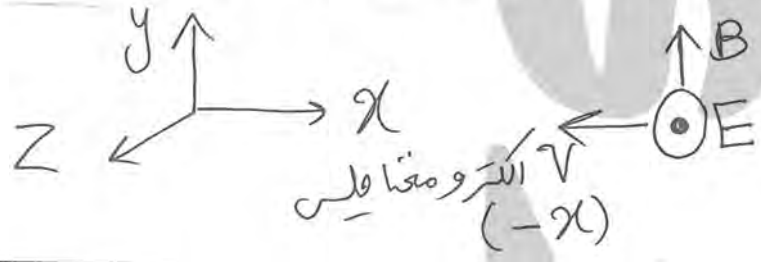
امواج مکانیکی انرژی را به صورت پتانسیل و جنبشی در ذرات محیط منتقل می‌کنند ولی امواج الکترومغناطیس این انرژی را به صورت انرژی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می‌کنند

# عقیل اسکندری

ک ۱۲ | ف ۳ | ص ۳۸

**پرسش ۳ـ۵**

در یک لحظهٔ خاص، میدان الکتریکی مربوط به یک موج الکترومغناطیسی در نقطه‌ای از فضا در جهت $z+$ و میدان مغناطیسی مربوط به آن در جهت $y+$ است. جهت انتشار در کدام سو است؟ (جهت‌های $x+$، $y+$ و $z+$ را مانند شکل ۳ـ۲۰ در نظر بگیرید.)




دهید

ماکسول با یک تحلیل ریاضی نشان داد که تندی انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلأ از رابطهٔ $c=\frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ به‌دست می‌آید، که در آن $\mu_0$ تراوایی مغناطیسی خلأ و برابر $4\pi\times10^{-7}\,T.m/A$ و $\varepsilon_0$ ضریب گذردهی الکتریکی خلأ و برابر $8/85\times10^{-12}\,C^2/N.m^2$ است. مقدار $c$ با استفاده از این رابطه $3/00\times10^8\,m/s$ می‌شود که همان تندی انتشار نور در خلأ است که پیش‌تر توسط فیزیک‌دان فرانسوی آرماند لوئیس فیزو (۱۸۹۶ـ ۱۸۱۹م.) به روش تجربی به‌دست آمده بود. این نتیجه‌ای بسیار مهم بود، زیرا نشان می‌داد نور، یک موج الکترومغناطیسی است.

نظریهٔ ماکسول نیاز به تأیید تجربی داشت. هاینریش هرتز در سال ۱۸۸۸ میلادی با ایجاد نوسان‌های الکتریکی پُر بسامدی، آزمایش‌های مشهوری در تأیید نظریهٔ ماکسول انجام داد. هرتز نشان داد که امواج رادیویی نیز با همان تندی نور مرئی در آزمایشگاه حرکت می‌کنند و این حاکی از سرشت یکسان امواج رادیویی و نور مرئی بود.

بخوانید و پاسخ

① نور یک موج الکترومغناطیس
هست ☐ نیست ☐

② سرعت اشعهٔ گاما از نور مرئی بیشتر است
درست ☐ غلط ☐

$\mu_0$ خلأ $\left(\frac{Tm}{A}\right)$ تراوایی

$\varepsilon_0\left(\frac{c^2}{Nm^2}\right)$ گذردهی الکتریکی

③ در رابطهٔ تندی الکترومغناطیس ماکسول $\varepsilon_0\mu_0$ یکای چیست؟

$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \rightarrow \left(\frac{m}{s}\right)=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$

$\varepsilon_0\mu_0=\left(\frac{s}{m}\right)^2$ (توان ۲ وارونه)

④ ماکسول از روش ریاضی ☐ تجربی ☐ فرمول c را بدست آورد

⑤ لوئیس فیزو سرعت نور را پیش از ماکسول از طریق تجربی بدست آورد درست ☐ غلط ☐

⑥ هاینریش هرتز ثابت کرد ماهیت (سرشت) نور مرئی با رادیویی یکی است ☐ غلط ☐

**مثال ۳ـ۷**

گسترهٔ بسامد نور مرئی از $۴/۰۰\times۱۰^{۱۴}\,Hz$ (نور قرمز) تا $۷/۹۰\times۱۰^{۱۴}\,Hz$ (نور بنفش) است. گسترهٔ طول‌موج‌های مربوط به نور مرئی در خلأ را بر حسب نانومتر تعیین کنید.

نور در خلأ $V = C = ۳\times۱۰^{۸}\ m/s$

پاسخ : نور یک نوع موج است و برای آن می‌توان از رابطهٔ $v=f\lambda$ استفاده کرد. اما برای این موج $v$ برابر با تندی نور ($c=۳/۰۰\times۱۰^{۸}m/s$) است. بنابراین برای دو حد پایین و بالای طول‌موج طیف نور مرئی به‌ترتیب داریم :

طول موج $\lambda(nm)$ (نانومتر)

$$\lambda_{\text{بنفش}} = \frac{c}{f_{\text{بنفش}}} = \frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۷/۹۰\times۱۰^{۱۴}\,s^{-1}} = ۳/۸۰\times۱۰^{-۷}\,m = ۳۸۰\,nm$$

$$\lambda_{\text{قرمز}} = \frac{c}{f_{\text{قرمز}}} = \frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۴/۰۰\times۱۰^{۱۴}\,s^{-1}} = ۷/۵۰\times۱۰^{-۷}\,m = ۷۵۰\,nm$$

فرابنفش — مرئی — فروسرخ → $\lambda$

بنفش ۳۸۰ nm ۰/۳۸ μm — قرمز ۷۵۰ nm ۰/۷۵ μm

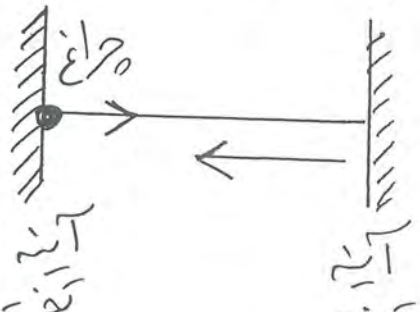
$\lambda = V/f$ هموجی وحی نور

نور در خلأ $\lambda = c/f$

---

مثال) در یک شرایط ایده‌ال فرض کنیم فاصلهٔ تهران تا مشهد ۱۰۰۰ km و مسیر کاملاً مسطح و هوا با خلأ هم رفتار است

در شکل اگر چراغ را روشن کنیم در مدت ۱s چند بار نور از تهران به مشهد می‌رود و برمی‌گردد؟




نور یکنواخت حرکت می‌کند

$\Delta x = V\,t = c\,t$

$\Delta x = ۳\times۱۰^{۸}\times۱ = ۳\times۱۰^{۵}\,m = ۳\times۱۰^{۵}\,km$

(سیصد هزار کیلومتر در هر ثانیه می‌رود)

طی خط میر $= \frac{۳۰۰\,۰۰۰}{۱۰۰۰} = ۳۰۰$ ⟵ رفت و برگشت $= \frac{۳۰۰}{۲} = ۱۵۰$ مرتبه

**○ تمرین ۳ـ۵**

طول آنتن یک گوشی تلفن همراه قدیمی معمولاً $\frac{1}{4}$ طول‌موج دریافتی است. اگر طول چنین آنتنی تقریباً برابر ۸/۵cm باشد بسامدی را که این گوشی با آن کار می‌کند تعیین کنید.

طول آنتن $= 8/5\,cm \longrightarrow \lambda = \frac{1}{4}(8/5)\times 10^{-2}\,m$

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times 10^{8}\times 4}{8/5\times 10^{-2}} = 1/41\times 10^{10}\,HZ$

(از نوع میکروموج)

**○ فعالیت ۳ـ۴**

مطابق شکل روبه‌رو یک گوشی تلفن همراه را در یک محفظهٔ تخلیهٔ هوای شیشه‌ای آویزان کنید. با برقراری تماس با گوشی، صدای آن را خواهید شنید. ولی با به‌کار افتادن پمپ تخلیهٔ هوا، صدا به‌تدریج ضعیف و سرانجام خاموش می‌شود، در حالی‌که امواج الکترومغناطیسی همچنان به گوشی می‌رسند. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

با تخلیه هوا، صدای موبایل داخل
اتاقک ضعیف و قطع می‌شود ولی نور
آن قطع نمی‌شود (بلکه واضح‌تری می‌شود مثلاً" اگر اتاقک پر از دود
بود با خروج دود این وضوح قابل درک می‌گردد)

توجه:
این آزمایش به صورت
مقابل هم مطرح بود.

نتیجه‌های هر دو آزمایش

① صوت موج مکانیکی است و برای انتشار به محیط مادی نیاز دارد

② نور موج الکترومغناطیسی است و برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارد

همان‌طور که پیش‌تر گفتیم امواج مکانیکی برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند. اما انتشار امواج الکترومغناطیسی به محیط مادی نیاز ندارد و این امواج، انرژی را نه به‌صورت انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل ذرات محیط، بلکه به‌صورت انرژی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می‌کنند. مثلاً کل انرژی دریافتی از خورشید که باعث بقای زندگی روی کرهٔ زمین می‌شود از نوع امواج الکترومغناطیسی است. با اینکه خورشید در فاصلهٔ ۱۵۰ میلیون کیلومتری از زمین قرار دارد، توان امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از خورشید که به سطح زمین می‌رسد، تقریباً ۱۰۰ میلیون گیگاوات است. جالب است که بدانید مرتبهٔ بزرگی توان تولیدی یک نیروگاه هسته‌ای، ۱ گیگاوات است.

**طیف امواج الکترومغناطیسی :** امروزه طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی را می‌شناسیم. این طیف شامل امواج رادیویی، میکروموج، فروسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای x و پرتوهای گاما است، که از کمترین بسامد تا بیشترین بسامد گسترده شده‌اند (شکل ۳ـ۲۲). تمام این امواج به‌رغم 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.

بخوانید و پاسخ دهید

① امواج مکانیکی برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند ☐ ندارند ☐

و امواج الکترومغناطیسی نیاز به محیط مادی دارند ☐ ندارند ☐

② امواج مکانیکی چگونه انرژی را حمل می‌کنند؟

③ امواج الکترومغناطیسی چگونه انرژی را حمل می‌کنند؟

④ انرژی خورشید از نوع : فقط مکانیکی ☐

فقط الکترومغناطیسی ☐

مکانیکی و الکترومغناطیسی ☐

⑤ فاصله خورشید و زمین ۱۵۰ میلیون کیلومتر است برای رسیدن نور خورشید به زمین چند دقیقه لازم است؟

$\Delta x = v t \longrightarrow \Delta x = c t$

نور یکنواخت حرکت می‌کند.

$t = \frac{150 \times 10^6 \times 10^3}{3 \times 10^8} \frac{m}{\frac{m}{s}} = 500\,s = 8{,}3$ دقیقه

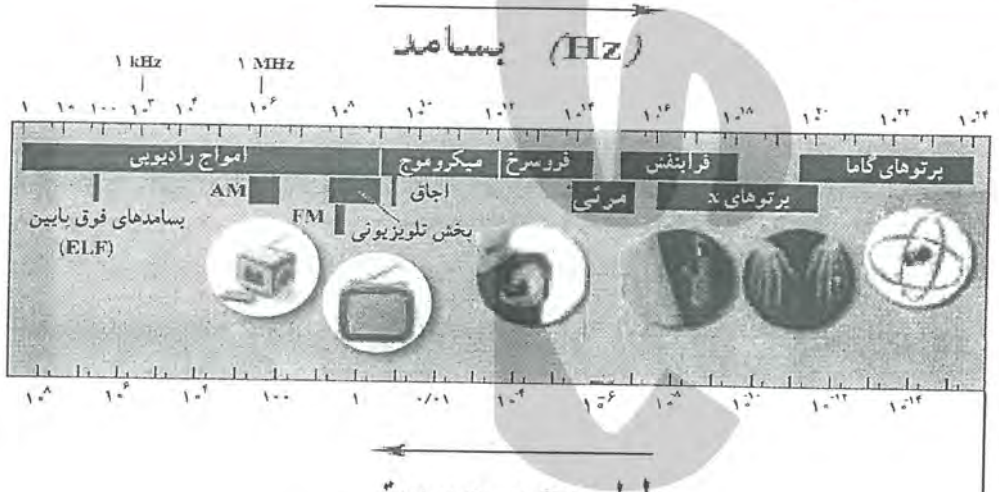
⑥ توان گرمایی (الکترومغناطیسی) خورشید برای زمین صدهزار تراوات و توان یک نیروگاه هسته‌ای هزار مگاوات است. این اعداد را برحسب GW بیان کنید و مقایسه نمائید.

$P_{\text{نیروگاه}} = 10^3 \times 10^6 \times 10^{-9} = 1\ GW$

$P_{\text{خورشید}} = 10^5 \times 10^{12} \times 10^{-9} = 10^8\ GW$

۱۰۰ میلیون مگا = $P_{\text{خورشید}}$ / $P_{\text{نیروگاه}}$

به گیگا از مگا — به گیگا از تترا — برای زمین




گاما
ایکس
فرابنفش
مرئی
فروسرخ
میکروموج
رادیویی

وقتی در جهت این فلش حرکت می‌کنیم متوجه می‌شویم:
طول موج زیاد
بسامد کم
انرژی کم
سرعت در خلأ ثابت

میکروموج ← اجاق
رادیویی ← تلویزیونی
رادیویی ← FM
رادیویی ← AM
رادیویی ← بسامدهای فوق پایین (ELF)

گاما $(\lambda_{min}$ و $f_{max})$
رادیویی $(\lambda_{max}$ و $f_{min})$

**فعالیت ۳ـ۵**

در مورد نواحی اصلی طیف امواج الکترومغناطیسی، چگونگی تولید و کاربردهای آنها تحقیق کنید.

خارج از متن

جدول ۶ـ۱ـ نحوهٔ تولید، آشکارسازی و کاربرد طیف موج‌های الکترومغناطیسی

| نام و حدود طول موج | چشمه | وسایل آشکارسازی | بعضی از ویژگی‌های خاص و کاربرد |
|---|---|---|---|
| پرتو گاما (γ) $1Pm = 10^{-12}m$ | هستهٔ مواد رادیواکتیو و پرتوهای کیهانی | شمارش‌گر گایگر ـ مولر و فیلم عکاسی | فوتون‌های با انرژی بسیار بالا و با قدرت نفوذ بسیار زیاد، خیلی خطرناک<br>کاربرد : بافت‌های سرطانی را ازبین می‌برد، برای پیدا کردن ترک در فلزات، برای ضدعفونی کردن تجهیزات و وسایل |
| پرتو ایکس (X) $100Pm = 10^{-10}m$ | لامپ پرتو X | فیلم عکاسی و صفحهٔ فلوئورسان | فوتون‌های بسیار پرانرژی و با قدرت نفوذ زیاد، خیلی خطرناک<br>کاربرد : استفاده در پرتونگاری، استفاده در مطالعهٔ ساختار بلورها، معالجهٔ بیماری‌های پوستی، استفاده در پرتو درمانی |
| فرابنفش (UV) $10nm = 10^{-8}m$ | خورشید، جسم‌های خیلی داغ، جرقهٔ الکتریکی، لامپ بخار جیوه | فیلم عکاسی، فوتوسل | ویژگی‌ها : توسط شیشه جذب می‌شود، سبب بسیاری از واکنش‌های شیمیایی می‌شود، یاخته‌های زنده را از بین می‌برد.<br>کاربرد : لامپ‌های uv در پزشکی |
| نور مرئی $0/6\mu m = 6\times10^{-7}m$ (سبز) | خورشید، جسم‌های داغ، لیزرها | چشم، فیلم عکاسی، فوتوسل | ویژگی‌ها : در بدن اجسام نقش اساسی دارد، برای رشد گیاهان و عمل فتوسنتز نقش حیاتی دارد.<br>کاربرد : در سیستم‌های مخابراتی (لیزر و تارهای نوری) مورد استفاده قرار می‌گیرد. |
| فروسرخ (IR) $100\mu m = 10^{-4}m$ | خورشید، جسم‌های گرم و داغ | فیلم‌های مخصوص عکاسی | ویژگی : هنگامی که جذب می‌شود، پوست را گرم می‌کند.<br>کاربرد : برای گرم کردن، برای فیلم‌برداری و عکاسی در مه و تاریکی، عکاسی IR توسط ماهواره‌ها |
| رادیویی $3m$ (VHF) | اجاق‌های مایکروویو، آنتن‌های رادیویی و تلویزیونی | رادیو و تلویزیون | کاربرد : در آشپزی، رادیو، تلویزیون، مخابرات ماهواره‌ای و در رادارها برای آشکارسازی هواپیما، موشک و کشتی |

یک موج الکترومغناطیس مثلاً "نور مرئی قرمز" و یک موج صوتی مثلاً "صدای صحبت کردن یک فرد از هوا وارد آب می‌شوند :

| | طول موج | سرعت | بسامد |
|---|---|---|---|
| صوت | زیاد | زیاد | ثابت |
| نور | کم | کم | ثابت |

| | نوع | نیاز به ماده | دستهٔ |
|---|---|---|---|
| صوت | مکانیکی | دارد | طولی |
| نور | الکترومغناطیسی | ندارد | عرضی |

فنر بلند کشیده (اسپینکی)

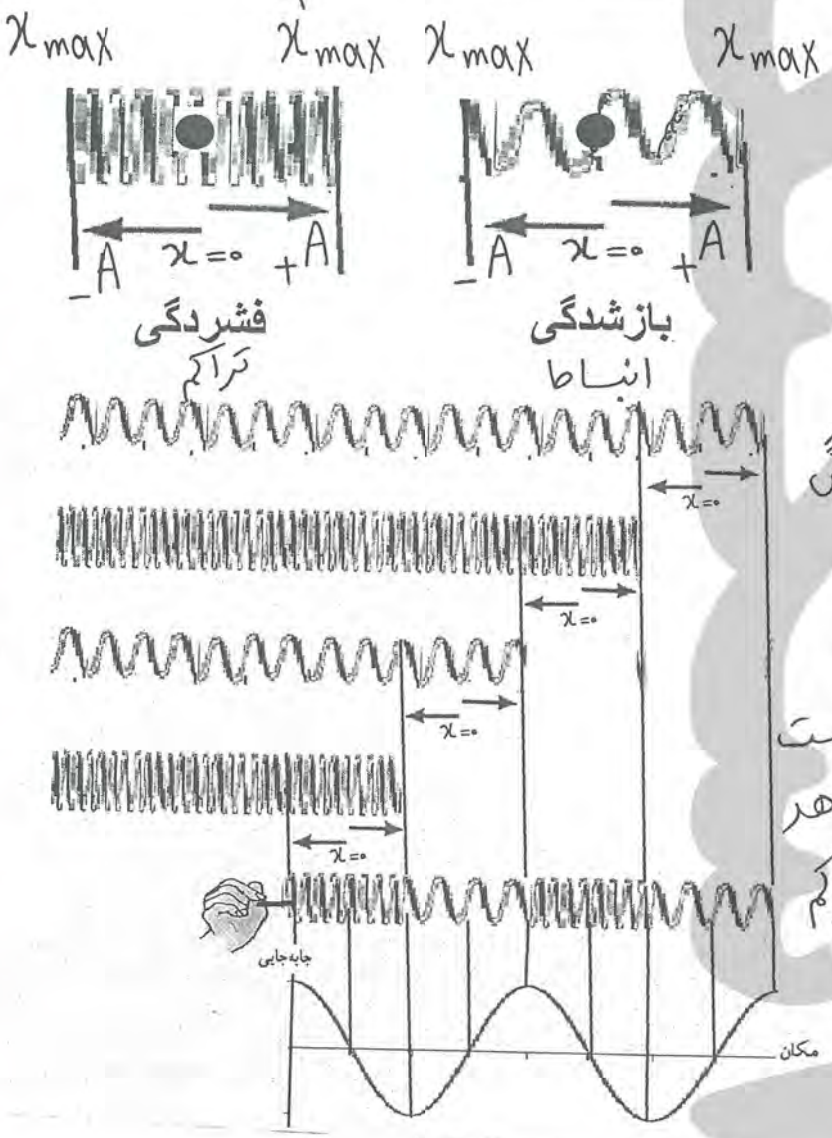
موج عرضی: قله ـ قله / دره ـ دره } λ

موج طولی

صفحه ۴ بعد

**موج طولی و مشخصه‌های آن :** در انتشار موج طولی در یک فنر بلندِ کشیده شده دیدیم که با انتشار موج، ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی به‌طور متناوب در طول فنر ظاهر می‌شوند. برای اینکه این موج را مدل‌سازی کنیم لازم است ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی را با دقت بیشتری مورد بررسی قرار دهیم. در یک لحظه از زمان، در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی یا بیشترین بازشدگی حلقه‌ها رخ می‌دهد، جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل برابر صفر است. در وسط فاصلهٔ بین یک جمع‌شدگی بیشینه و یک بازشدگی بیشینهٔ مجاور هم، اندازهٔ جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل، بیشینه است. به این ترتیب می‌توان برای فنرِ شکل ۳ـ۲۳الف، نمودار جابه‌جایی ـ مکانِ شکل ۳ـ۲۳ ب را رسم کرد. با استفاده از چنین نموداری، برای یک موج طولی نیز می‌توانیم همان مشخصه‌های موج عرضی را تعریف کنیم؛ مثلاً در حالی که طول‌موج برای امواج عرضی برابر با فاصلهٔ دو قله یا دو درهٔ متوالی است، در مورد امواج طولی، طول‌موج برابر با فاصلهٔ بین دو تراکم (برای فنر، جمع‌شدگی) یا دو انبساط (برای فنر، بازشدگی) متوالی است. همچنین دامنهٔ موج طولی برابر با بیشینهٔ جابه‌جایی از مکان تعادل است.

$A = \lambda/4$




برای تجسم این مطلب فنر را فنرهائی تصور کنید که هر کشیدگی یا فشردگی مختص یک فنر باشد مثل این است که یک وزنه به فنر متصل است و بوسان ساده رخ می دهد مرکز انبساط و مرکز تراکم همان وضع تعادل فنر محسوب می شوند ($x=0$)

ابتدا و انتهای هر تراکم (فشردگی) و انبساط (بازشدگی) $x_{max}$ می گردد

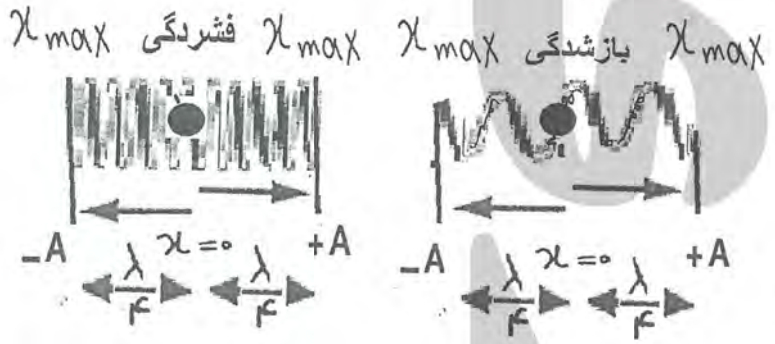
خیلی مهم

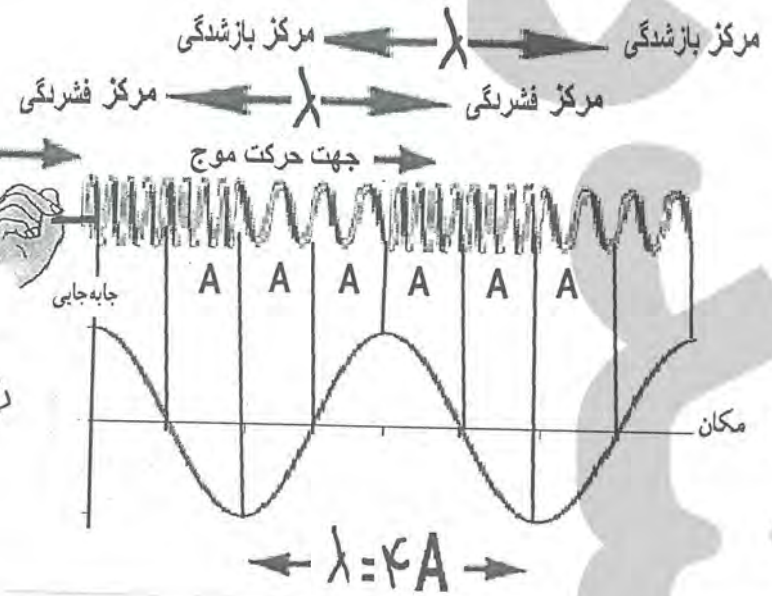
① طول موج $\lambda$ از کجا تا کجا

② کجا $x=0$

③ کجا $x_{max}$

④ بین طول موج و دامنه چه رابطه‌ای وجود دارد؟




در اینجا نیز همانند موج عرضی، هر جزء فنر در مدت یک دوره ($T$) یک نوسان کامل انجام می‌دهد و در این مدت موج به اندازهٔ یک طول‌موج ($\lambda$) پیشروی می‌کند. بنابراین تندی انتشار موج طولی نیز با همان رابطهٔ موج عرضی به طول‌موج و دورهٔ تناوب بستگی دارد ($v=\lambda/T$). البته این به این معنا نیست که در یک جسم تندی انتشار هر دو نوع موج برابر است. برای امواج مکانیکی، تندی انتشار امواج طولی در یک محیط جامد بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط است. ← یعنی اولین باراست که در یک محیط

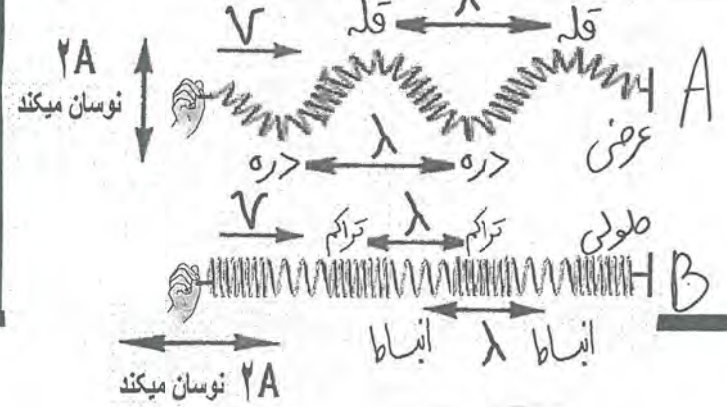
در موج طولی

$\lambda = VT$

$\lambda = \frac{V}{f}$

(فرمول تندی موج مانند موج عرضی است)

تندی (سرعت) انتشار موج یکسان نیست



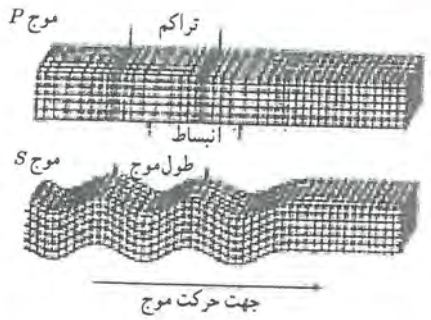

$V_A < V_B$

$V_A$ عرضی

$V_B$ طولی

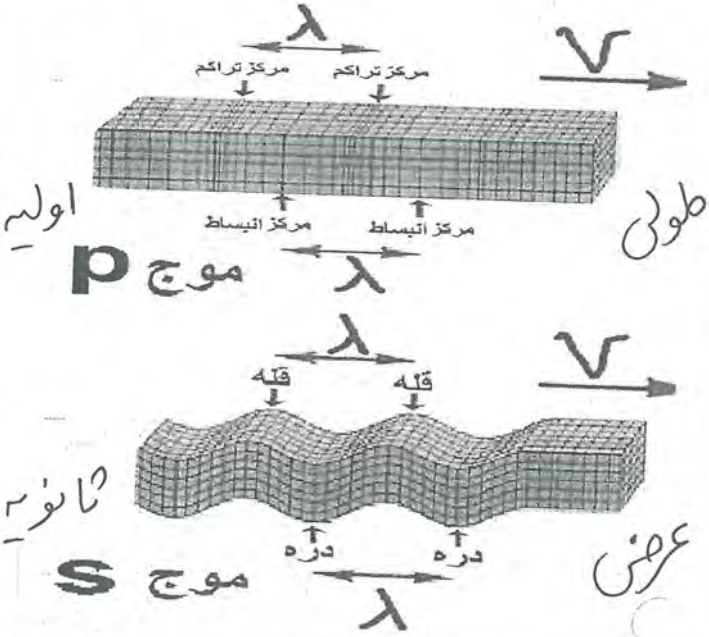
(در یک محیط جامد)

**مثال ۳ـ۸**




*امواج لرزه‌ای*[1] موج‌های مکانیکی‌ای هستند که از لایه‌های زمین عبور می‌کنند. یکی از منشأهای مهم امواج لرزه‌ای، زمین‌لرزه‌ها هستند. دو نوع از امواج لرزه‌ای، امواج اولیهٔ $P$[2] و امواج ثانویهٔ $S$[3] هستند. امواج $P$، امواجی طولی و امواج $S$ امواجی عرضی هستند. معمولاً تندی موج‌های $P$ در حدود ۸/۰km/s و تندی موج‌های $S$ در حدود ۴/۵ km/s است. یک دستگاه لرزه‌نگار[4] 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؟

موج لرزه ای ( زمین لرزه )




حرکت امواج P و S یکنواخت است (سرعت ثابت)

چون تندی P بیشتر از S است زودتر می رسد

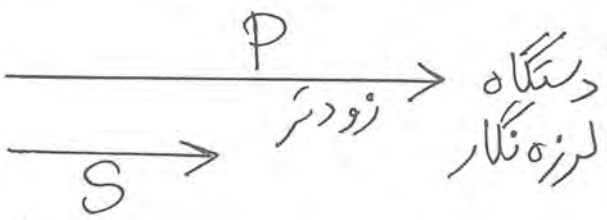
$t_P < t_S$

ولی فاصله‌ای که طی می‌کنند مساوی است

$\Delta x_P = \Delta x_S$

و هر با سرعت ثابت

$\Delta x = V \Delta t$




$\Delta t = t_S - t_P$

$\Delta t = \frac{\Delta x}{V_S} - \frac{\Delta x}{V_P} = \Delta x \left( \frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_P} \right)$

$۳(۶۰) = \Delta x \left( \frac{1}{۴/۵} - \frac{1}{۸} \right)$

$\Delta x = ۱/۹ \times ۱۰^{۳}\ km$

# عقیل اسکندری

| ص ۴۷ | ف ۳ | ک ۱۲ |
|---|---|---|

**موج صوتی** : صوت یک موج طولی است که توسط جسمی مرتعش از قبیل سیم گیتار، تارهای صوتی حنجره انسان، دیاپازون، و یا پوسته‌های مرتعشی مانند صفحهٔ مرتعش (دیافراگم) یک بلندگو، تولید می‌شود، که اصطلاحاً به اینها چشمهٔ صوت گفته می‌شود. وقتی یک چشمهٔ صوت مرتعش می‌شود، معمولاً صوت ایجادشده در تمام جهت‌ها منتشر می‌شود. افزون بر این، صوت فقط در محیط‌های مادی مانند گاز، مایع، یا جامد می‌تواند ایجاد و منتشر شود. امواج صوتی به دلیل طبیعت طولی خود، مثل موج طولی ایجاد شده در یک فنر کشیده، در مقایسه با بازشدگی‌ها و جمع‌شدگی‌های فنر، از مجموعه‌ای از *تراکم‌ها* و *انبساط‌ها* تشکیل شده‌اند؛

بخوانید و پاسخ دهید

① صوت ، موجی

طولی ☐ عرضی ☐

مکانیکی ☐ الکترومغناطیسی ☐

② جسم مرتعش صوت ایجاد می کند ☐ نمی کند ☐

(خارج از متن ← همهٔ صوت ها را می توان ☐ نمی توان ☐ شنید)

③ دستگاهی که صوت تولید می کند چه نام دارد؟ مثال بزنید

④ صوت فقط در یک جهت حرکت می کند درست ☐ غلط ☐

⑤ صوت در یک محیط نامحدود در همهٔ جهات حرکت می کند درست ☐ غلط ☐

(بنابراین صوت یک موج کروی است درست ☐ غلط ☐)

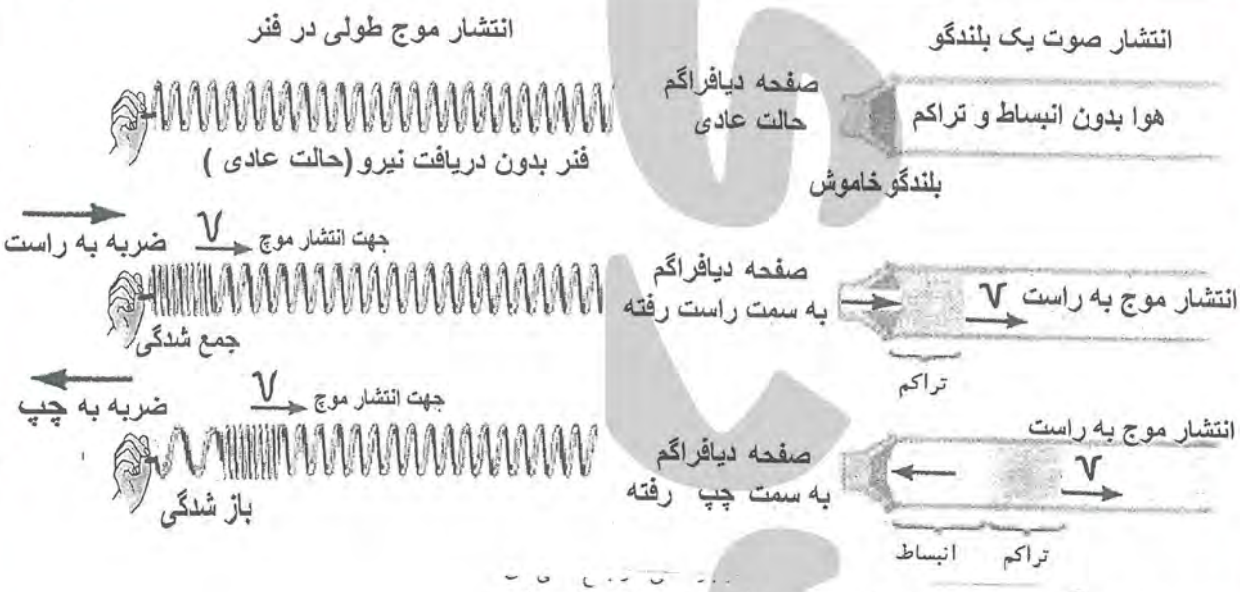
⑥ صوت در خلأ منتشر می شود درست ☐ غلط ☐

⑦ صوت در گاز و مایع و جامد منتشر می شود درست ☐ غلط ☐

⑧ صوت طولی است ☐ و دارای انبساط و تراکم ☐

عرضی است ☐ قله و دره ☐

⑨ در مقایسه با موج طولی در فنر { انبساط ↔ بازشدگی / تراکم ↔ جمع شدگی }



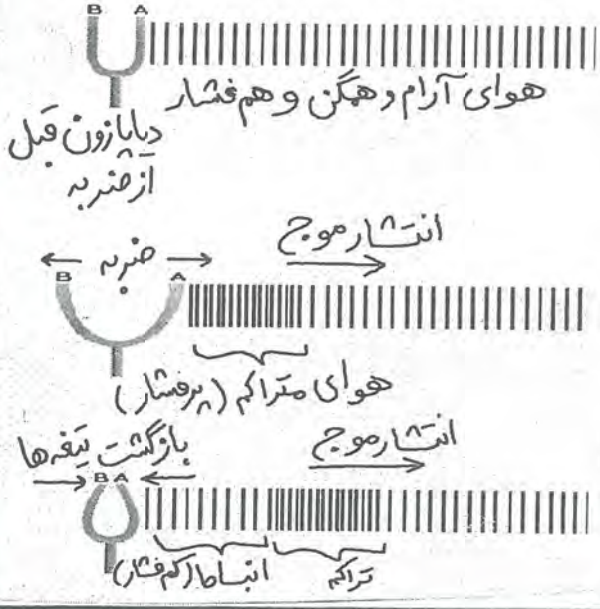

فنر، از مجموعه‌ای از *تراکم‌ها* و *انبساط‌ها* تشکیل شده‌اند؛ مثلاً با ارتعاش دیافراگم یک بلندگو، موجی صوتی ایجاد می‌شود. حرکت رو به بیرون دیافراگم، هوای جلوی آن را متراکم می‌کند. این تراکم که با تندی صوت از بلندگو دور می‌شود مشابه ناحیهٔ جمع‌شدگی در یک فنرِ کشیده است که در آن موجی طولی روانه شده است (شکل ۳ـ۲۴ الف). پس از تولید یک ناحیهٔ متراکم، دیافراگم حرکتش را برعکس می‌کند و به سمت داخل می‌رود. حرکت رو به داخل دیافراگم، هوای جلوی آن را منبسط می‌کند. این انبساط که با تندی صوت از بلندگو دور می‌شود، مشابه ناحیهٔ بازشدگی در یک فنر کشیده است که در آن موجی طولی روانه شده است (شکل ۳ـ۲۴ ب). توجه کنید، درحالی‌که موج از بلندگو به شنونده می‌رسد، هر مولکول هوا، با موج حرکت نمی‌کند، بلکه در مکان ثابتی به جلو و عقب نوسان می‌کند (شکل ۳ـ۲۵).

**پرسش ۳ـ۶**

الف) چگونگی ایجاد صوت توسط دیاپازون را توضیح دهید.

ب) به نظر شما چه سازوکاری موجب صدای وزوزِ حشرات هنگام پرواز می‌شود؟

الف) تقریباً با تولید صوت توسط بلندگو مشابه است فقط اینکه بلندگو دارای صفحهٔ دیافراگم است و دیاپازون دارای تیغه است.
(انبساط ← هوای کم فشار
تراکم ← هوای پرفشار)




ب) چون پر زدن حشرات بسیار سریع است درست مانند ارتعاش تیغه دیاپازون عمل می‌کنند (فرکانس زیاد)

تندی انتشار صوت نیز مانند هر موج مکانیکی دیگری با رابطهٔ $v=f\lambda$ به بسامد و طول‌موج مربوط می‌شود و به ویژگی‌های فیزیکی محیط بستگی دارد.

اندازه‌گیری‌ها نشان داده است که عموماً صوت در جامدها سریع‌تر از مایع‌ها و در مایع‌ها سریع‌تر از گازها حرکت می‌کند، گرچه استثناهایی نیز وجود دارد. جدول ۳ـ۱ تندی صوت را در تعدادی از گازها، مایع‌ها و جامدها نشان می‌دهد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تندی صوت افزون بر جنس محیط به دما نیز بستگی دارد و از این رو معمولاً تندی صوت در مواد، همراه با دمای متناظر آنها نوشته می‌شود.

بخوانید و پاسخ دهید

① رابطه تندی موج و طول موج چیست؟

② تندی موج به چه بستگی دارد؟

③ علامت $<$ یا $>$ بگذارید

$v_{\text{گاز}}$ ? $v_{\text{مایع}}$ ? $v_{\text{جامد}}$

(تندی صوت)

④ تندی صوت با دمای محیط چه رابطه‌ای دارد؟

⑤ در مورد گازها

$M_{\text{هوا}} = 29$

$M_{\text{هیدروژن}} = 2$ g/mol

$M_{\text{هلیوم}} = 4$

چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

→ نکته: صوت در هوا حال یک موج طولی است ولی دیدیم که اگر در یک محیط هم موج طولی و هم عرضی تولید شود $v_{\text{طولی}} > v_{\text{عرضی}}$

جدول ۳ـ۱ تندی صوت در محیط‌های مختلف

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

* فشار همهٔ گازها ۱atm است.

گاز

معمولاً افزایش تندی صوت

استثناء (خارج از متن) سرب جیوه

مایع

جامد

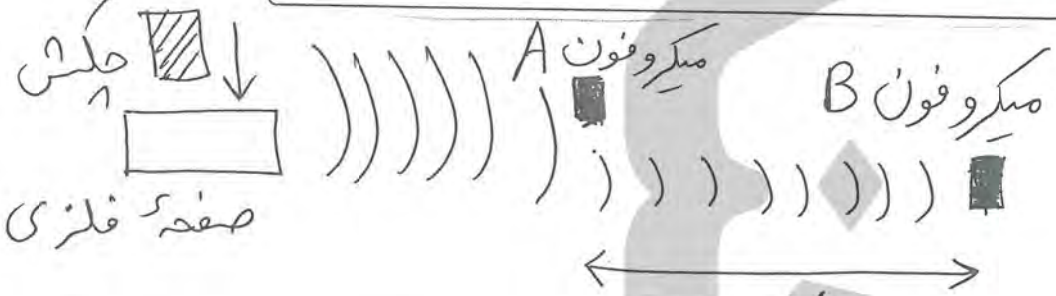
(هرچه محیط متراکم‌تر باشد $v$ صوت بیشتر)

**فعالیت ۳ـ۶**

**اندازه‌گیری تندی صوت :** یک روش ساده برای اندازه‌گیری تندی صوت به این ترتیب است : دو میکروفون را مطابق شکل به یک زمان‌سنج حساس[1] متصل کنید. این زمان‌سنج می‌تواند بازه‌های زمانی را با دقت میلی‌ثانیه اندازه‌گیری کند. وقتی چکش را به صفحهٔ فلزی بکوبیم، امواج صوتی که به سمت دو میکروفون روانه می‌شوند، نخست میکروفون نزدیک‌تر و سپس میکروفون دورتر را متأثر می‌سازند. اختلاف فاصلهٔ میکروفون‌ها از محل برخورد چکش با صفحهٔ فلزی را اندازه می‌گیریم. با استفاده از زمان‌سنج می‌توانیم تأخیر زمانی بین دریافت صوت توسط دو میکروفون را ثبت کنیم. اکنون با استفاده از رابطهٔ $v=\Delta x/\Delta t$ می‌توانیم تندی صوت را در هوا بیابیم. درصورتی‌که این اسباب را در مدرسه دارید با استفاده از آن، تندی صوت را در هوا اندازه بگیرید.

→ آزمایشی برای تعیین تندی صوت در هوا

Fast timer
زمان‌سنج حساس
(ms)




$\Delta x$ معلوم

$\Delta x = V \Delta t$

$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\text{طول خط‌کش}}{t_B - t_A} = \text{عدد معلوم}$

مثال) تندی صوت در هوا $330\ m/s$ و فاصله دو میکروفون از محل چکش $40\ cm$ است اختلاف زمان ثبت شده چند میلی‌ثانیه است؟

$\Delta t = \frac{\Delta x}{V} = \frac{33 \times 10^{-2}}{330} = 1 \times 10^{-3}\ s = 1\ ms$

فردی بیننده و شنونده، آذرخش و تندر است وقتی آذرخش را می بیند شروع به شمارش می کند: ۱۰۰۱ و ۱۰۰۲ و ..... و ۱۰۰۶ که تندر را می شنود. فاصله تقریبی ابر تا زمین چند km است؟

$V_{صوت} = 340\ m/s$

چون فاصله کم است نور تقریباً بلافاصله می رسد

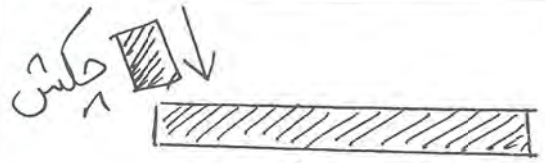
$\Delta x = V t$

$\Delta x = 340 \times 6$ متر

$\Delta x = 2040\ km$

---

در شکل پس از ضربه اصطکاک زمان دریافت دو صوت چند میلی ثانیه است؟




$\Delta x_{فولاد} = 14/94\ cm$

$V_{هوا} = 332\ m/s$ و $V_{فولاد} = 5976$

$\Delta x = V t$

$19/92 \times 10^{-2} = 332\, t$ هوا $\rightarrow t = 0/6\ ms$

$$t_{هوا} = \frac{14/94 \times 10^{-2}}{332} \times 1000 = 0/45\ ms$$

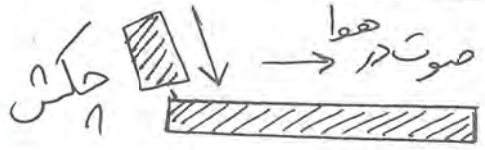
$$t_{فولاد} = \frac{14/94 \times 10^{-2}}{5976} \times 1000 = 0/025\ ms$$

$10^{-2}\ cm \leftarrow$ میلی $\rightarrow 1000$

$$\Delta t = 0/425\ ms$$

**تمرین ۳ـ۶**

شخصی با چکّش به انتهای میلهٔ 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 ۰/۱۲s می‌شنود. اگر تندی صوت در هوا ۳۴۰m/s باشد، طول میله چقدر است؟




$\Delta x = V \Delta t$

(صوت حرکت یکنواخت دارد)

$V_{میله} = ۱۵ V_{هوا} \rightarrow t_{میله} = \frac{۱}{۱۵} t_{هوا}$

$t_{هوا} - t_{میله} = ۰/۱۲ \rightarrow ۱۵ t_{میله} - t_{میله} = ۰/۱۲$

$۱۴ t_{میله} = ۰/۱۲ \rightarrow t_{میله} = \frac{۱۲}{۱۴۰۰}$

$\Delta x_{میله} = V_{میله} t_{میله} = ۱۵ \times ۳۴۰ \times \frac{۱۲}{۱۴۰۰} = ۴۳/۷۱ m$

$\Delta x_{هوا} = V_{هوا} t_{هوا} = ۳۴۰ \times ۱۵ \times \frac{۱۲}{۱۴۰۰} = ۴۳/۷۱ m$

**شدت و تراز شدت صوت :** انتشار صوت از هر چشمهٔ صوتی همراه با انتقال بی‌دریی انرژی از ناحیه‌ای از محیط به ناحیه‌ای دیگر از آن است. در واقع چشمهٔ 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 لایهٔ بعدی و از آنجا به لایه‌های بعدتر منتقل و در تمام جهت‌ها منتشر می‌شود. شدت یک موج صوتی ($I$) در یک سطح، برابر با آهنگ متوسط انرژی‌ای است که توسط موج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد یا از آن عبور می‌کند (شکل ۳ـ۲۶).

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

$\bar{P}$ آهنگ متوسط انتقال انرژی (W)

$A$ مساحت سطح برخورد ($m^2$)

بخوانید و پاسخ دهید

① انتشار صوت با انتقال انرژی همراه است ☐ نیست ☐

② چگونه انرژی چشمه صوت به نقاط دور می‌رسد؟

③ انتقال انرژی صوتی فقط در یک جهت ☐ در همهٔ جهت‌ها ☐

④ شدت صوت را تعریف کنید

⑤ یکای شدت صوت؟

توجه: معمولاً $A = ۴\pi r^2$ (کره) رخ می‌دهد

# عقیل اسکندری

ص ۵۳ | ف ۳ | ک ۱۲

شدت صوت را می‌توان با یک آشکارساز اندازه گرفت. با اندازه‌گیری شدت صوت‌های مختلف درمی‌یابیم نسبت شدت‌های صوت در گسترهٔ شنوایی انسان می‌تواند در حدود $10^{12}$ باشد (جدول ۳ـ۲). برای بررسی چنین گسترهٔ وسیعی از شدت‌ها راحت‌تر آن است که از لگاریتم (در پایهٔ ۱۰) استفاده کنیم. یعنی به‌جای شدت $I$ یک موج صوتی، ساده‌تر این است که از تراز شدت صوت (تراز صوتی) که به‌صورت زیر تعریف می‌شود استفاده کنیم :

$$\beta = (10\,dB)\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad \text{(تراز شدت صوت)} \qquad (۱۲_۳)$$

که در آن dB مخفف دسی‌بل، یکای تراز شدت صوت است که به افتخار الکساندر گراهام بل (۱۹۲۲ـ۱۸۴۷ م.) انتخاب شده است. همچنین $I_0$ شدت مرجع ($1/00\times10^{-12}\,W/m^2$) به این دلیل انتخاب شده است که نزدیک به حد پایین گسترهٔ شنیداری انسان است. یک موج صوتی با شدت $I=I_0$ تراز شدت صوتی برابر $0\,dB$ دارد. جدول ۳ـ۲، شدت‌ها و ترازهای شدت صوت را برای چند صدای متفاوت داده است.

بخوانید و پاسخ دهید

① شدت صوت عددی کیفی است و قابل اندازه گیری نیست

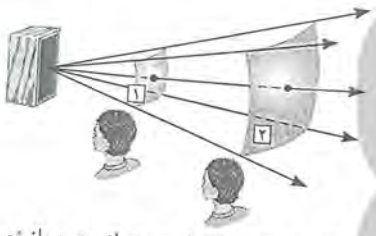
درست □ غلط □

② دامنهٔ شدت صوتی که انسان می شنود است

$10^{-12}$ □ $10^{12}$ □ ۱ □

ارتعاش یک مولکول هوا

شکل ۳ـ۲۵ در حالی که موج از بلندگو به سمت شنونده حرکت می‌کند، مولکول‌های هوا در جای خود نوسان می‌کنند.




شکل ۳ـ۲۶ با انتشار صوت از چشمه، انرژی به‌طور عمود، نخست از سطح ۱ و سپس از سطح ۲ که مساحت بیشتری دارد، می‌گذرد.

توجه : چون گسترهٔ شنوائی شدت صوت برای انسان از مرجع $I_0 = 10^{-12}$ تا $I=1$ خیلی وسیع است استفاده از تراز شدت صوت اعداد را ساده‌تر و قابل فهم‌تری کند

تراز صوت

از $0\,dB$ ↑ $I_0=10^{-12}$ شدت $I$ $I=1$ ↑ $120\,dB$ تا تراز $\beta$

این شکل می‌گوید صوت موج مکانیکی طولی است و نیاز به ماده دارد و انتشار آن به صورت امواج طولی انباشتگی و تراکم مولکول‌های ماده است

این شکل می‌گوید صوت موج کروی است و هرقدر از چشمه دورتر باشیم خطوط انرژی بازتر هستند و شدت صوت کمتر است

← حد پائین گسترهٔ شنیداری

| صوت | شدت صوت ($W/m^2$) | تراز شدت صوت (dB) |
|---|---|---|
| نفس کشیدن در فاصلهٔ ۳m | $10^{-11}$ | ۱۰ |
| پچ‌پچ در فاصلهٔ ۱m | $10^{-10}$ | ۲۰ |
| کتابخانه | $10^{-9}$ | ۳۰ |
| خیابان بی‌سروصدا | $10^{-8}$ | ۴۰ |
| رستوران ساکت | $10^{-7}$ | ۵۰ |
| صحبت معمولی در فاصلهٔ ۱m | $10^{-6}$ | ۶۰ |
| خیابان پر سروصدا | $10^{-5}$ | ۷۰ |
| در نزدیکی جاروبرقی | $10^{-4}$ | ۸۰ |
| قطار در عبور از یک تقاطع | $10^{-3}$ | ۹۰ |
| کارگاه ماشین‌آلات پر سروصدا | $10^{-2}$ | ۱۰۰ |
| دستگاه پخش صوت در بیشترین صدای خود | $10^{-1}$ | ۱۱۰ |
| منهٔ سنگ‌شکن | $10^{0}$ | ۱۲۰ |
| موتور جت در فاصلهٔ ۳۰m | $10^{1}$ | ۱۳۰ |

**مثال ۳ـ۹**

تراز شدت صوت یک مخلوط‌کن ۸۰dB است. شدت این صدا چقدر است؟

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$80 = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$\log \frac{I}{I_0} = 8 \longrightarrow \frac{I}{I_0} = 10^8 \longrightarrow I = 10^{-4} \frac{w}{m^2}$$

**تمرین ۳ـ۷**

با زیاد کردن صدای تلویزیونی، شدت صوتی که به گوش ما می‌رسد ۱۰۰ برابر می‌شود.

تراز شدت صوتی که می‌شنویم چند دسی‌بل افزایش یافته است؟

$$\frac{I_2}{I_1} = 100 \longrightarrow B_2 - B_1 = ?$$

$$B_2 - B_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log 100$$

$$B_2 - B_1 = 10 \log 10^2 = 20 \log 10 = 20 \text{ dB}$$

$\log 2 = 0/3$ ، $I_0 = 10^{-12} \frac{w}{m^2}$

مثال) تراز صوتی ۱۲dB است شدت صوت را بدست آورید.

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} \longrightarrow 12 = 10 \log \frac{I}{I_0} \longrightarrow \log \frac{I}{I_0} = 1/2$$

$$\frac{I}{I_0} = 10^{1/2} = 10^{4(0/3)} = 10^{4 \log 2} = 10^{\log 2^4} = 10^{\log 16} = 16 \longrightarrow I = 16 \times 10^{-12}$$

مثال) تراز صوتی ۱۳dB است شدت صوت را بدست آورید.

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} \longrightarrow 13 = 10 \log \frac{I}{I_0} \longrightarrow \log \frac{I}{I_0} = 1/3$$

$$I = 10^{1/3} \times 10^{-12} = 10^{0/3} \times 10^{1} \times 10^{-12} = 10^{\log 2} \times 10^{-11} = 2 \times 10^{-11} \frac{w}{m^2}$$

| صوت | شدت صوت ($W/m^2$) | تراز شدت صوت (dB) |
|---|---|---|
| نفس کشیدن در فاصلهٔ ۳m | $10^{-11}$ | ۱۰ |
| پچ‌پچ در فاصلهٔ ۱m | $10^{-10}$ | ۲۰ |
| کتابخانه | $10^{-9}$ | ۳۰ |
| خیابان بی‌سروصدا | $10^{-8}$ | ۴۰ |
| رستوران ساکت | $10^{-7}$ | ۵۰ |
| صحبت معمولی در فاصلهٔ ۱m | $10^{-6}$ | ۶۰ |
| خیابان پر سروصدا | $10^{-5}$ | ۷۰ |
| در نزدیکی جاروبرقی | $10^{-4}$ | ۸۰ |
| قطار در عبور از یک تقاطع | $10^{-3}$ | ۹۰ |
| کارگاه ماشین‌آلات پر سروصدا | $10^{-2}$ | ۱۰۰ |
| دستگاه پخش صوت در بیشترین صدای خود | $10^{-1}$ | ۱۱۰ |
| متهٔ سنگ‌شکن | $10^{0}$ | ۱۲۰ |
| موتور جت در فاصلهٔ ۳۰m | $10^{1}$ | ۱۳۰ |

**مثال ۳ـ۹**

تراز شدت صوت یک مخلوط‌کن ۸۰dB است. شدت این صدا چقدر است؟

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$80 = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$\log \frac{I}{I_0} = 8 \longrightarrow \frac{I}{I_0} = 10^8 \rightarrow I = 10^{-4} \frac{W}{m^2}$$

**تمرین ۳ـ۷**

با زیاد کردن صدای تلویزیونی، شدت صوتی که به گوش ما می‌رسد ۱۰۰ برابر می‌شود.

تراز شدت صوتی که می‌شنویم چند دسی‌بل افزایش یافته است؟

$$\frac{I_2}{I_1} = 100 \longrightarrow B_2 - B_1 = ?$$

$$B_2 - B_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log 100$$

$$B_2 - B_1 = 10 \log 10^2 = 20 \log 10 = 20 \, dB$$

$\log 2 = 0/3$ ، $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$

مثال) تراز صوتی 12dB است شدت صوت را بدست آورید.

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow 12 = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow \log \frac{I}{I_0} = 1/2$$

$$\frac{I}{I_0} = 10^{1/2} = 10^{4(0/3)} = 10^{4 \log 2} = 10^{\log 2^4} = 10^{\log 16} = 16 \rightarrow I = 16 \times 10^{-12}$$

مثال) تراز صوتی 13dB است شدت صوت را بدست آورید.

$$B = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow 13 = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow \log \frac{I}{I_0} = 1/3$$

$$I = 10^{1/3} \times 10^{-12} = 10^{0/3} \times 10^{1} \times 10^{-12} = 10^{\log 2} \times 10^{-11} = 2 \times 10^{-11} \frac{W}{m^2}$$

# عقیل اسکندری

ص ۵۵ | ف ۳ | ک ۱۲

**ادراک شنوایی :** وقتی دیاپازونی را با ضربه‌ای به ارتعاش وا می‌داریم، دیاپازون نوسان‌هایی انجام می‌دهد که به دلیل میرایی کم، به حرکت هماهنگ ساده نزدیک است. به صوت حاصل از چنین چشمه‌هایی تُنِ موسیقی یا به‌اختصار تُن[1] گفته می‌شود. با شنیدن هر تُن، دو ویژگی را می‌توان از هم متمایز ساخت : ارتفاع[2] و بلندی[3] آن. ارتفاع و بلندی هر دو به ادراک شنوایی ما مربوط می‌شوند. ارتفاع، بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند؛ مثلاً اگر چند دیاپازون با بسامدهای مختلف به‌طور یکسان نواخته شوند بسامد آنها را می‌توان از کمترین تا بیشترین مقدار تشخیص داد. اما بلندی، شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند. اگر یک دیاپازون 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. شدت را می‌توان با یک آشکارساز اندازه گرفت، در حالی که بلندی چیزی است که شما حس می‌کنید. دستگاه شنوایی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت‌های متفاوتی نشان می‌دهد، به‌طوری که بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گسترهٔ ۲۰۰۰Hz تا ۵۰۰۰Hz است، در حالی که گوش انسان قادر به شنیدن تُن‌های صدای ۲۰Hz تا ۲۰,۰۰۰Hz است.

بخوانید و پاسخ دهید

① آیا نوسان‌های دیاپازون را می‌توان هماهنگ ساده در نظر گرفت؟ ② نوسان کم میرا یعنی چه؟

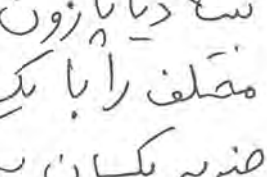
③ چشمه تُن موسیقی یا تُن هماهنگ ساده دارد ☐ ندارد ☐

④ تُن دو ویژگی متمایز صوت است ..... و .....

⑤ ارتفاع و بلندی هر دو به ..... مربوط می‌شوند.

⑥ بسامدی که گوش انسان درک می‌کند بلندی ☐ ارتفاع ☒

⑦ سه دیاپازون مختلف را با یک ضربه یکسان به صدا درمی‌آوریم اینکه می‌توانیم صدای زیر و بم (بسامد بالا و پایین) را تشخیص دهیم ارتفاع ☐ بلندی ☐ (تشخیص بسامد ← ارتفاع)




⑧ اگر یک دیاپازون را با ضربه‌های متفاوت به صدا درآوریم، گوش صدای شدیدتر را تشخیص می‌دهد بلندی ☐ ارتفاع (تشخیص شدت ← بلندی)

⑨ صداهای تک بسامد با شدت متفاوت هم ارتفاع ☐ هم بلندی ☐

⑩ صداهای هم شدت با بسامدهای متفاوت هم ارتفاع ☐ هم بلندی ☐

⑪ بلندی صوت شدت صوت است درست ☐ غلط ☐

بلندی صوت تشخیص شدت صوت است درست ☐ غلط ☐

شدت ☐ بلندی ☐ شدت و بلندی ☐ را می‌توان با آشکارساز تعیین کرد و اندازه گرفت.

شدت ☐ بلندی ☐ شدت و بلندی ☐ چیزی است که ما حس می‌کنیم و برای هر فرد اختصاصی است

دستگاه شنوایی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت‌های متفاوت ☐ یکسان ☐ دارد.

بیشترین حساسیت گوش انسان ☐ ۲۰۰۰ Hz تا ۵۰۰۰ Hz

☐ ۲۰ Hz تا ۲۰۰۰۰ Hz

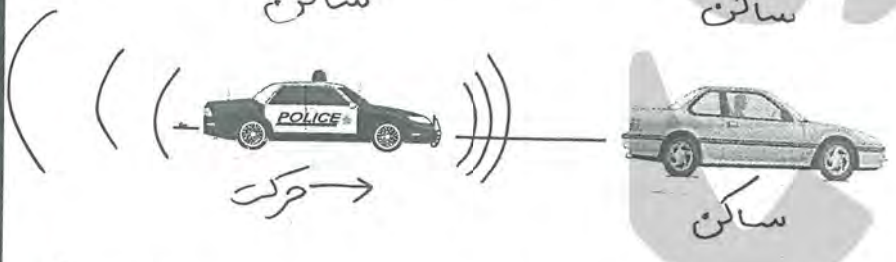
گوش انسان فقط نُت صدای ☐ ۲۰۰۰ Hz تا ۵۰۰۰ Hz می‌شنود

☐ گستره ۲۰ Hz تا ۲۰۰۰۰ Hz

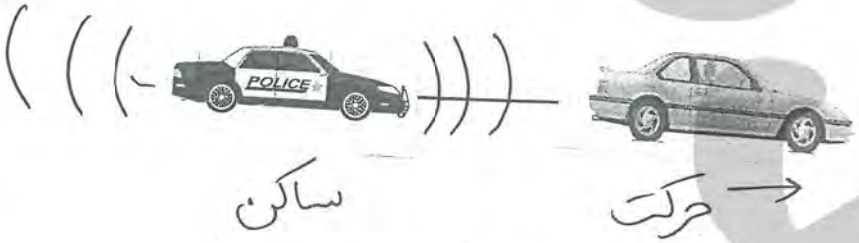
**اثر دوپلر :** فرض کنید یک ماشین آتش‌نشانی در حالی که آژیر آن روشن است در کنار خودروی شما متوقف باشد. شما همان بسامدی را از آژیر می‌شنوید که رانندهٔ ماشین آتش‌نشانی می‌شنود. ولی اگر خودروی شما به ماشین آتش‌نشانی نزدیک و یا از آن دور شود، بسامدهای متفاوتی را خواهید شنید. همچنین اگر خودروی شما ساکن باشد و ماشین آتش‌نشانی به شما نزدیک و سپس از شما دور شود باز هم بسامدهای متفاوتی را خواهید شنید. اینها مثال‌هایی از اثر دوپلر است که به افتخار کاشف آن یوهان کریستین دوپلر (۱۸۵۳ـ۱۸۰۳ م.) فیزیک‌دان اتریشی، نام‌گذاری شده است. اثر دوپلر نه‌تنها برای امواج صوتی بلکه برای امواج الکترومغناطیسی، مانند میکروموج‌ها، موج‌های رادیویی و نور مرئی نیز برقرار است. ما در اینجا نخست امواج صوتی را در نظر می‌گیریم و به‌عنوان دو حالت خاص، وضعیت‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آنها چشمهٔ صوتی به شنوندهٔ ساکن نزدیک و یا از او دور شود، و یا شنونده به چشمهٔ صوتی ساکن نزدیک و یا از او دور شود[1].

هرگاه چشمه موج نسبت به ناظر حرکت کند آنچه که ناظر از بسامد آن موج دریافت می‌کند با آنچه که چشمه تولید کرده متفاوت است

$f_S = f_O$
$\lambda_S = \lambda_O$

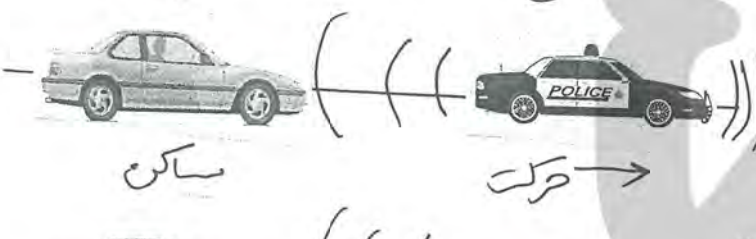



$f_S < f_O$
$\lambda_S > \lambda_O$

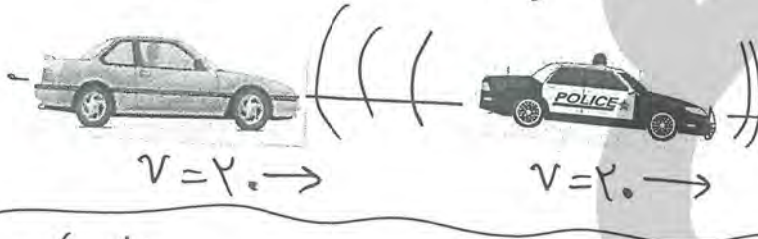



$f_S > f_O$
$\lambda_S = \lambda_O$

$f_S < f_O$
$\lambda_S = \lambda_O$




$f_S > f_O$
$\lambda_S > \lambda_O$




$f_S = f_O$
$\lambda_S > \lambda_O$

---

$S \leftarrow$ چشمه $\quad O \leftarrow$ ناظر (بیننده ← نور)
(شنونده ← صوت)

اگر نزدیک می شوند $f_S < f_O$ دور می شوند $f_S > f_O$

در مورد $\lambda$ اصلاً به حرکت یا سکون شنونده نگاه نمی کنیم

منبع نزدیک می شود $\lambda_S < \lambda_O$ منبع دور می شود $\lambda_S > \lambda_O$

(آخرین تمرین فصل)

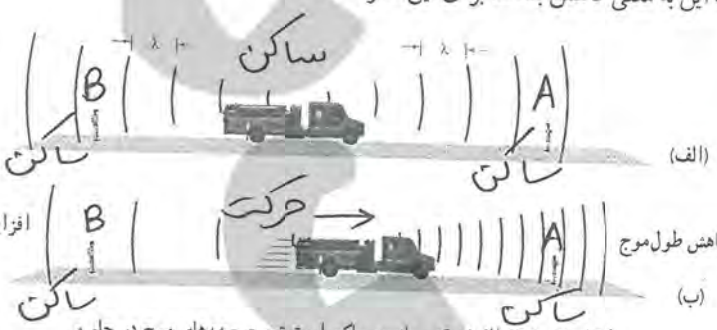
**الف) چشمهٔ متحرک و ناظر (شنوندهٔ) ساکن :** شکل ۳ـ۲۷ الف، جبهه‌های موج حاصل از صدای آژیر یک ماشین آتش‌نشانی ساکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود فاصلهٔ این جبهه‌ها از هم، در جلو و عقب ماشین یکسان است، ولی اگر ماشین آتش‌نشانی مثلاً به جلو حرکت کند، فاصلهٔ جبهه‌های موج در جلوی ماشین کمتر از پشت آن خواهد بود (شکل ۳ـ۲۷ ب). بنابراین اگر ناظر ساکنی را روبه‌روی ماشین در نظر بگیریم، این ناظر طول‌موج 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 طول‌موج بلندتری را نسبت به وضعیتی که ماشین ساکن بود اندازه می‌گیرد، که این به معنی کاهش بسامد برای این ناظر است.

$f_B = f_S = f_A$

$\lambda_{\text{عقب}} = \lambda_S = \lambda_{\text{جلو}}$

$\lambda_{\text{عقب}} > \lambda_S > \lambda_{\text{جلو}}$

$f_B < f_S < f_A$




شکل ۳ـ۲۷ 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.

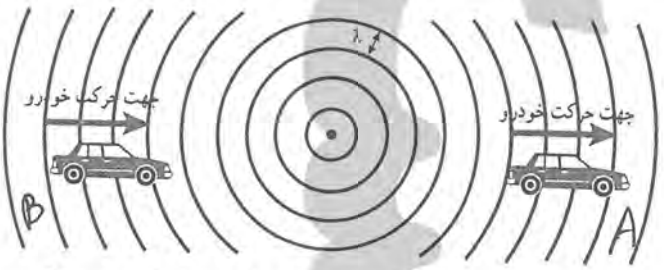
**ب) چشمهٔ ساکن و ناظر (شنوندهٔ) متحرک :** در این حالت تجمع جبهه‌های موج در دو سوی چشمه یکسان است. اگر ناظر به طرف چشمه حرکت کند، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت زمان یکسان، با جبهه‌های موج بیشتری مواجه می‌شود که این منجر به افزایش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود. در حالی‌که اگر ناظر از چشمه دور شود، 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 (شکل ۳ـ۲۸).

وقتی منبع ساکن

$\lambda_B = \lambda_S = \lambda_A$

$f_B > f_S > f_A$

نزدیک می‌شود — دور می‌شود




شکل ۳ـ۲۸ در مدت زمان یکسان خودرویی که به چشمهٔ 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.

(دقت داریم که دایره ها اختلاف فاصله پیدا نکرده اند پس $\lambda$ ثابت است)

**اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی :** همان‌طور که گفتیم برای موج‌های الکترومغناطیسی همانند نور یا امواج رادیویی نیز اثر دوپلر برقرار است، ولی بررسی آن با اثر دوپلر در صوت متفاوت است. هر گاه چشمهٔ موج الکترومغناطیسی نسبت به ناظر (آشکارساز) در حرکت باشد، بسامد و طول‌موج دریافتی از این چشمه تغییر می‌کند. اندازه‌گیری این تغییرات (جابه‌جایی دوپلری) نقش مهمی در اخترشناسی دارد. در رصدهای نجومی ستارگان، کهکشان‌ها و سایر چشمه‌های نوریِ سماوی، چه هنگامی که از ما دور می‌شوند و چه هنگامی که به ما نزدیک می‌شوند، با اندازه‌گیری جابه‌جایی دوپلری نور آنها می‌توان اطلاعاتی در مورد تندی و چگونگی حرکت آنها به‌دست آورد. این جابه‌جایی دوپلری صرفاً ناشی از حرکت آن اجرام سماوی نسبت به ناظر (آشکارساز) است. وقتی چشمهٔ نور از ناظر (آشکارساز) دور می‌شود، طول‌موج افزایش می‌یابد که به آن اصطلاحاً *انتقال به سرخ*[1] می‌گویند و وقتی چشمهٔ نور به ناظر نزدیک می‌شود، طول‌موج کاهش پیدا می‌کند که به آن اصطلاحاً *انتقال به آبی*[2] می‌گویند (شکل ۳ـ۲۹).

① اثر دوپلر در مورد نور هم هست

② یادآوری (مرئی)

قرمز بنفش
طول موج زیاد
فرکانس کم

بنفش
نیلی
آبی
سبز
زرد
نارنجی
قرمز
λ زیاد
f کم

Red shift
منبع دور می‌شود
λ زیاد می‌شود
f کم می‌شود
رنگ منبع به قرمز می‌رود

Blue shift
منبع نزدیک می‌شود
λ کم می‌شود
f زیاد می‌شود
رنگ منبع به بنفش می‌رود

لامپ سبز از بیننده H دور و به بیننده M نزدیک می‌شود
بیننده H (زرد ـ نیلی) و بیننده M (زرد ـ نیلی) می‌بیند

M ← سبز → H
نزدیک دور

(f زیاد) (نیلی)
(f کم) (زرد)

**پرسش ۳ـ۸**

شکل زیر چشمهٔ نوری را نشان می‌دهد که در حال حرکت به‌طرف راست است. چشمه، نوری با بسامد $f$ را گسیل می‌کند. بسامد نوری که آشکارساز ساکن دریافت می‌کند بیشتر از $f$ است یا کمتر؟

منبع از ناظر (آشکارساز) دور می‌شود پس فرکانس کاهش می‌یابد و طول موج افزایش می‌یابد

همچنین همان‌طور که در فصل بعد خواهید دید، می‌توان با ارسال یک موج رادیویی به سوی خودرویی در حال حرکت و دریافت بازتاب این موج و در نظر گرفتن اثر دوپلر، تندی خودرو را به‌دست آورد؛ روشی که پلیس در کنترل تندی خودروها در جاده‌ها به‌کار می‌برد (شکل ۳ـ۳۰).

در دوربین‌های کنترل سرعت راهنمائی و رانندگی اثر دوپلر استفاده شده است و موج کاربردی از امواج رادیوئی است

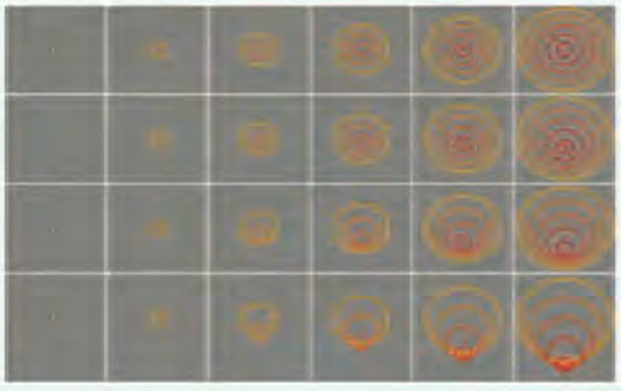
شکل ۳ـ۳۰ تعیین تندی خودروها به کمک اثر دوپلر

**پرسش ۳ـ۷**

در هر ردیف شکل روبه‌رو، جبهه‌های موج متوالی حاصل از یک چشمه را می‌بینید.

الف) تندی چشمه‌ها را با هم مقایسه کنید.

ب) تندی هر چشمه را با تندی صوت مقایسه کنید.




چشمه (الف) ساکن است زیرا جبهه ها کاملاً متقارن هستند $v_{الف} = 0$

در ضمن چشمه (ت) سریعتر از صوت حرکت می‌کند زیرا توانسته از جبهه‌های صوتی خود جلو بزند $v_{ت} > v_{صوت}$

ت ۱

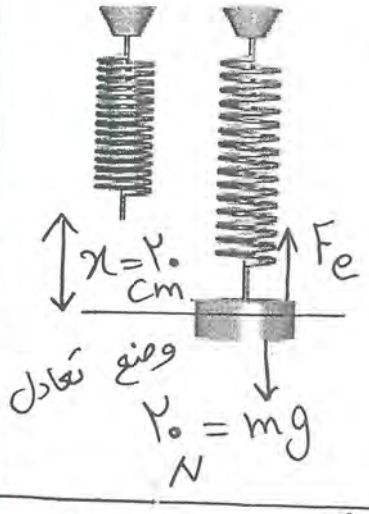
ک ۱۲ | ف ۳ | ص ۶۱

# عقیل اسکندری

## پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

**۳ـ۱ و ۳ـ۲ نوسان دوره‌ای و حرکت هماهنگ ساده**

**۱.** یک وزنهٔ ۲۰N را از انتهای یک فنر قائم می‌آویزیم، فنر ۲۰cm کشیده می‌شود. سپس این فنر را در حالی که به یک وزنهٔ ۵/۰N متصل است روی میز بدون اصطکاکی به نوسان درمی‌آوریم. دورهٔ تناوب این نوسان چقدر است؟ $\pi^2 = 10$



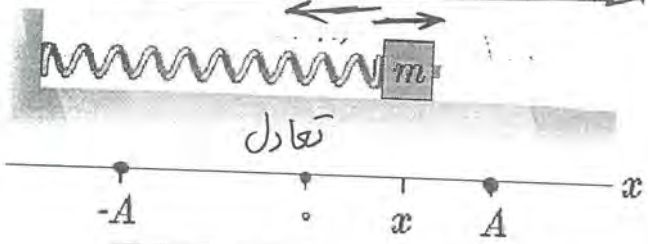

شرط تعادل

$F_e = mg$

$Kx = mg$

$K = \frac{۲۰}{۰/۲}$

$K = ۱۰۰$




(K عددی ثابت)

$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

$T = ۲\pi\sqrt{\frac{۰/۵}{۱۰۰}}$

$T = ۲\sqrt{\frac{۵}{۱۰۰}} = ۰/۲\sqrt{۵}$ s

**۲.** هرگاه جسمی به جرم $m$ به فنری متصل شود و به نوسان درآید، با دورهٔ تناوب ۲/۰s نوسان می‌کند. اگر جرم این جسم ۲/۰kg افزایش یابد، دورهٔ تناوب ۳/۰s می‌شود. مقدار $m$ چقدر است؟

$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

(K عددی ثابت) $\rightarrow \frac{T_۲}{T_۱} = \sqrt{\frac{m_۲}{m_۱}} \rightarrow \frac{۳}{۲} = \sqrt{\frac{m+۲}{m}}$

(توان ۲) $\rightarrow \frac{۹}{۴} = \frac{m+۲}{m} \rightarrow ۹m = ۴m + ۸$ kg

$۵m = ۸ \rightarrow m = ۱/۶$

**۳.** جرم خودرویی همراه با سرنشینان آن ۱۶۰۰kg است. این خودرو روی چهار فنر با ثابت $۲/۰۰ \times ۱۰^۴ N/m$ سوار شده است. دورهٔ تناوب، بسامد، و بسامد زاویه‌ای ارتعاش خودرو وقتی از چاله‌ای می‌گذرد چقدر است؟ فرض کنید وزن خودرو به‌طور یکنواخت روی فنرهای چهارچرخ توزیع شده است.

سهم هر فنر $\leftarrow m = \frac{۱۶۰۰}{۴}$

$m = ۴۰۰$ kg

$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{K}} = ۲\pi\sqrt{\frac{۴۰۰}{۲۰۰۰۰}}$

$T = ۲\pi\sqrt{\frac{۱}{۵۰}}$ s $\rightarrow f = \frac{۱}{T} = \frac{\sqrt{۵۰}}{۲\pi}$ Hz

$\omega = \frac{۲\pi}{T} = \frac{۲\pi}{۲\pi\sqrt{\frac{۱}{۵۰}}}$

$\omega = \sqrt{۵۰}$ (رادیان بر ثانیه)

ت ۲

# عقیل اسکندری

ص ۶۲ | ف ۳ | ک ۱۲

**۴.** دامنهٔ نوسان یک حرکت هماهنگ ساده $۳/۰ \times ۱۰^{-۲}\,m$ و بسامد آن $۵/۰\,Hz$ هرتز است. معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید و نمودار مکان ــ زمان آن را در یک دوره رسم کنید.

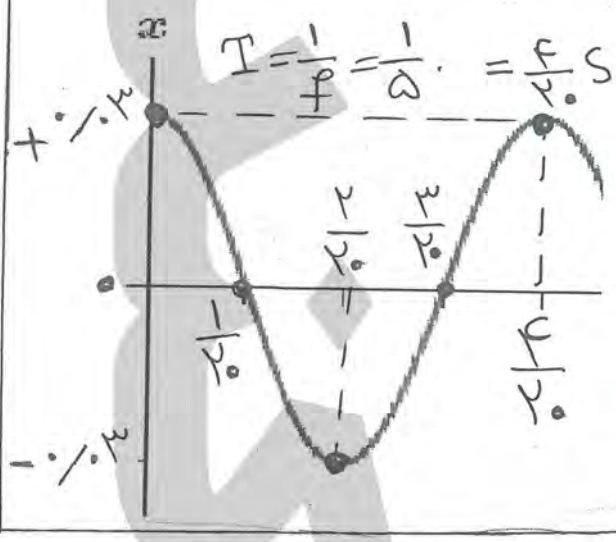
$A = ۰/۰۳\,m$

$\omega = ۲\pi f = ۱۰\pi \ \frac{rad}{s}$

$x = A\cos\omega t$

$x = (۰/۰۳)\cos ۱۰\pi t$

$x = ۰/۰۳\cos ۱۰\pi t$




### ۳ــ۳ انرژی در حرکت هماهنگ ساده

**۷.** دامنهٔ نوسان وزنه‌ای که به یک فنر با ثابت فنر $۷۴\,N/m$ متصل است و در راستای افقی نوسان می‌کند، برابر با $۸/۰\,cm$ است. اگر انرژی پتانسیل این نوسانگر در نقطه‌ای از مسیر نوسان، $۸/۰ \times ۱۰^{-۲}\,J$ باشد، انرژی جنبشی آن در این مکان چقدر است؟ (از نیروهای اتلافی چشم‌پوشی شود.)

$A = ۰/۰۸\,m$

$K = ۷۴\,N/m$

$E = \frac{۱}{۲}KA^۲$

$E = \frac{۱}{۲} \times ۷۴ \times ۶۴ \times ۱۰^{-۴}$

$E = ۲۳۶۸ \times ۱۰^{-۴} = ۲۳/۶۸ \times ۱۰^{-۲}\,J$

$E = U + K$

$K = (۲۳/۶۸ - ۸) \times ۱۰^{-۲}$

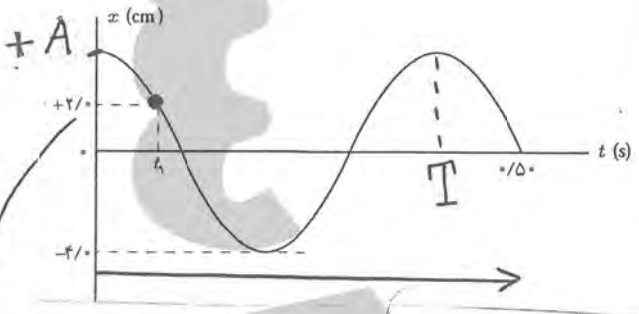
$K = ۱۵/۶۸ \times ۱۰^{-۲}\,J$

**۵.** نمودار مکان ــ زمان نوسانگری مطابق شکل زیر است :

الف) معادلهٔ حرکت این نوسانگر را بنویسید.

ب) مقدار $t_۱$ را به‌دست آورید.

پ) اندازهٔ شتاب نوسانگر را در لحظهٔ $t_۱$ محاسبه کنید.




$x = A\cos\omega t$

$۲ = ۴\cos\omega t$

$\cos\omega t = \frac{۲}{۴} = \cos\frac{\pi}{۳}$

$\omega t = \frac{\pi}{۳} \rightarrow ۵\pi t = \frac{\pi}{۳}$

$t = \frac{۱}{۱۵}$

$x = A\cos\omega t$

$x = ۴\cos ۵\pi t$

$a = -\omega^۲ x = -(۵\pi)^۲(۲)$

$\rightarrow a = -۵۰\pi^۲$

$T + \frac{T}{۴} = ۰/۵ \rightarrow ۵\frac{T}{۴} = \frac{۵}{۱۰}$

$T = ۰/۴\,s \rightarrow \omega = \frac{۲\pi}{T} = \frac{۲\pi}{۰/۴} = ۵\pi$

$F_e = ma \rightarrow -kx = ma$

$-m\omega^۲ x = ma$

ت ۳

# عقیل اسکندری

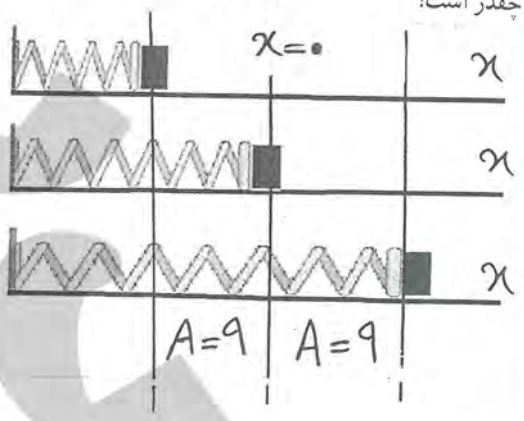
ص ۶۳ | ف ۲ | ک ۱۲

**۷.** جسمی به جرم ۱/۰kg به فنری افقی با ثابت ۶/۰N/cm متصل است. فنر به اندازهٔ ۹/۰cm فشرده و سپس رها می‌شود و جسم روی سطح افقی شروع به نوسان می‌کند. با چشم‌پوشی از اصطکاک

الف) دامنهٔ نوسان و تندی بیشینهٔ جسم چقدر است؟

ب) وقتی تندی جسم ۱/۶m/s است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

تعادل




الف) $A = ۹\,cm$

$K = m\omega^۲$

$۶۰۰ = ۱\,\omega^۲$

$\omega = \sqrt{۶۰۰}$

$V_{max} = A\omega$

$V_{max} = ۹\sqrt{۶۰۰}\ \frac{cm}{s}$

$E = \frac{۱}{۲}kA^۲$

$E = \frac{۱}{۲}(۶۰۰)\left(\frac{۹}{۱۰۰}\right)^۲$

$E = ۲/۴۳\ J$

$K = \frac{۱}{۲}mV^۲ = \frac{۱}{۲}(۱)(۱/۶)^۲$

$K = ۱/۲۸\ J$

$U = E - K = ۱/۱۵^{J}$

**۸.** معادلهٔ حرکت هماهنگ سادهٔ یک نوسانگر در SI به‌صورت $x = (۰/۰۵۰\,m)\cos ۲۰\pi t$ است.

الف) در چه زمانی، پس از لحظهٔ صفر، برای نخستین بار تندی نوسانگر به بیشترین مقدار خود می‌رسد؟

ب) در چه زمانی، پس از لحظهٔ صفر، برای نخستین بار تندی نوسانگر به صفر می‌رسد؟

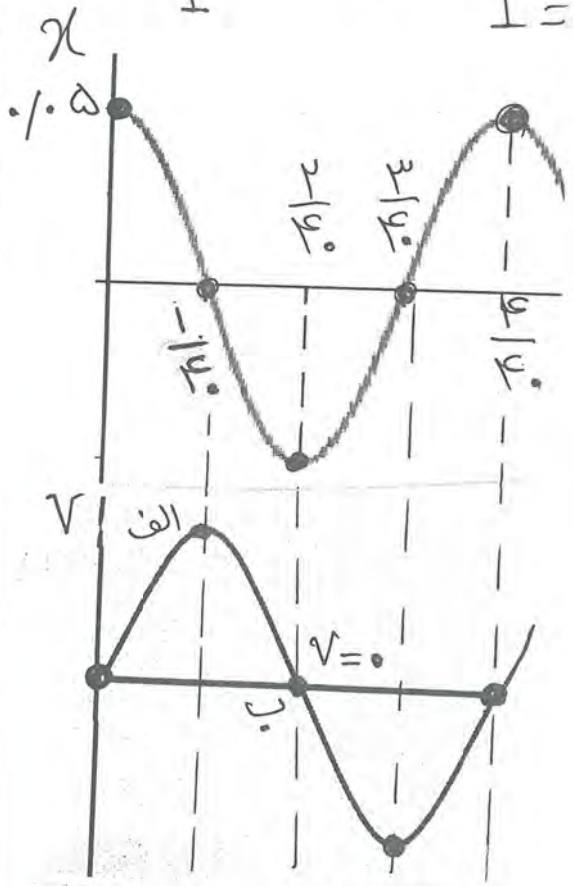
پ) تندی نوسانگر چقدر باشد تا انرژی جنبشی نوسانگر برابر با انرژی پتانسیل آن شود؟

$x = ۰/۰۵\cos ۲۰\pi t$

$\omega = ۲۰\pi$

$\omega = \frac{۲\pi}{T} \rightarrow \frac{۲\pi}{T} = ۲۰\pi$

$T = \frac{۱}{۱۰}\,s$




الف) $t = \frac{۱}{۴۰} \rightarrow V_{max}$

ب) $t = \frac{۲}{۴۰} \rightarrow V = ۰$

پ) ← صفحهٔ بعد

توجه: نباید از $U = \frac{۱}{۲}kx^۲$ و $V = \omega\sqrt{A^۲ - x^۲}$ حل کنیم

ت ۴

| عقیل اسکندری | ص ۶۴ | ف ۳ | ک ۱۲ |
|---|---|---|---|

۸ – ب چون نمی‌توان از معادلات سرعت استفاده کرد :

$$E = U + K \xrightarrow{U=K} E = 2K = 2\left(\frac{1}{2}\right)mv^2 = mv^2$$

$$E = mv^2 \rightarrow \frac{1}{2}kA^2 = mv^2 \rightarrow \frac{1}{2}m\omega^2A^2 = mv^2$$

$$v^2 = \frac{1}{2}\omega^2A^2 \rightarrow v^2 = \frac{1}{2}(0.05)^2 \rightarrow v = 0.05\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$x = A\omega\cos\omega t \quad \text{و} \quad x = 0.05\cos 20\pi t$$

**۹.** الف) ساعتی آونگ‌دار (با آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو؟ مقدار این عقب یا جلو افتادن در یک شبانه‌روز چقدر است؟ ($g_{\text{استوا}} = 9/778\,m/s^2$ و $g_{\text{تهران}} = 9/80\,m/s^2$)

ب) به نظر شما آیا با افزایش دما، یک ساعت آونگ‌دار جلو می‌افتد یا عقب؟

الف) $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

$T$ ↓ زیاد می‌شود

$g$ → کم می‌شود

وقتی از تهران به استوا می‌رویم $g$ کم می‌شود پس $T$ زیاد می‌شود یعنی زمان نوسان کردن آونگ طولانی‌تر می‌شود و آونگ عقب می‌ماند

$$\frac{T_{\text{استوا}}}{T_{\text{تهران}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{تهران}}}{g_{\text{استوا}}}} \rightarrow \frac{86400}{T_{\text{تهران}}} = \sqrt{\frac{9/80}{9/778}}$$

$T_{\text{تهران}} = 86311\,s$ یعنی $\Delta t = 89\,s$

(توجه : یک شبانه‌روز $= 24 \times 60 \times 60 = 86400\,s$)

ب) با افزایش دما، طول آونگ زیاد می‌شود و $T$ زیاد می‌شود و باز هم آونگ عقب می‌ماند

۵ ت

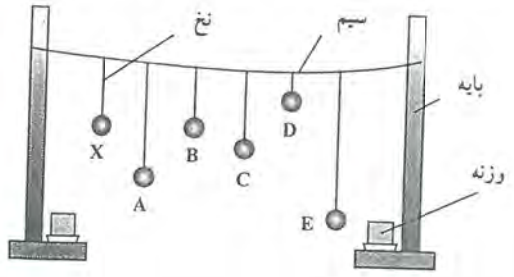
# عقیل اسکندری

ص ۶۵ | ف ۳ | ک ۱۲

**۱.** هر فرد معمولاً با چرخشِ اندک بدنش به چپ و راست، راه می‌رود و بدین ترتیب نیروهای کوچکی به زمینِ زیر پایش وارد می‌کند. این نیروها بسامدی در حدود ۰/۵Hz دارند. لرزش شدید پل هوایی میلینیوم[1] در آغاز هزارهٔ جدید را به عبور منظم گروهی از افراد از این پل ربط داده‌اند. چگونه ممکن است نوسان‌های بدن این افراد موجب چنین لرزشی شده باشد؟

تشدید رخ داده است.
حرکت منظم افراد نیروی نوسانی
با بسامد ۰/۵ HZ درهان سوی
که آن افراد قرار داشتند تولید
نمود و چون فرکانس این نیرو
با فرکانس طبیعی پل یکسان
بوده (مثلاً رژه منظم یک
گروه نظامی) $f = f_0$
فرکانس طبیعی = فرکانس وادارنده
دامنهٔ نوسان آزاد پل آرام آرام
افزوده شده و پل تغییر
شکل داده است.

**II.** مطابق شکل چند آونگ را از سیمی آویخته‌ایم. توضیح دهید با به نوسان درآوردن آونگ X، آونگ‌های دیگر چگونه نوسان می‌کنند؟




$T_{\text{آونگ}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

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

وقتی آونگ X عمود بر
صفحه کشیده و رها شود
اگر آونگی دقیقاً هم طول با آن
باشد $f = f_x$ بود چون
طبیعی وادارنده (خارجی)
پس تشدید (رزونانس) رخ می‌داد
ولی الان B و C تقریباً هم طول
با X هستند و کمی با تأخیر تشدید
می‌کنند ولی برای مدتی نسبتاً طولانی
به نوسان خود ادامه می‌دهند

(ادامه صفحهٔ بعد)

**۱۲.** یک نوسان‌ساز موج‌هایی دوره‌ای در یک ریسمان کشیده ایجاد می‌کند.

الف) با افزایش بسامد نوسان‌ساز کدام‌یک از کمیت‌های زیر تغییر نمی‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موجِ موج.

ب) حال اگر به جای افزایش بسامد، کشش ریسمان را افزایش دهیم، هر یک از کمیت‌های زیر چه تغییری می‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موج موج.

ولی $L_D < L_x$

$T_D < T_x$

یعنی برای مدتی محدود D تندتند نوسان می‌کند و می‌ایستد

$L_A$ و $L_E$ از $L_x$ بیشتر است

پس $T_A$ و $T_E$ از $T_x$ بیشتر است

یعنی A و E از x آرام‌تر نوسان می‌کنند ولی باز هم طولی نمی‌کشد که می‌ایستند جالب است

بدانیم طول A به طول x نزدیک‌تر است پس دوام نوسان آن بیشتر از E است

الف) اگر فرکانس منبع موج زیاد شود فرکانس موج زیاد می‌شود ولی تندی موج فقط به شرایط فیزیکی محیطی که موج منتشر می‌شود بستگی دارد و ثابت می‌ماند

ثابت ← تندی موج = طول موج

زیاد ← فرکانس موج

↓ کاهش

ب)

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow \text{تندی موج عرضی در ریسمان} =$$

$$\text{تندی موج عرضی در ریسمان} = \sqrt{\frac{\text{نیروی کشش ریسمان}}{\text{چگالی خطی جرم}}}$$

F زیاد ← V زیاد

$\mu$ ثابت

زیاد ↓ $\lambda = \frac{V}{f}$ ← زیاد

ثابت ← f (بسامد) فقط به منبع موج بستگی دارد

ت ۷

# عقیل اسکندری

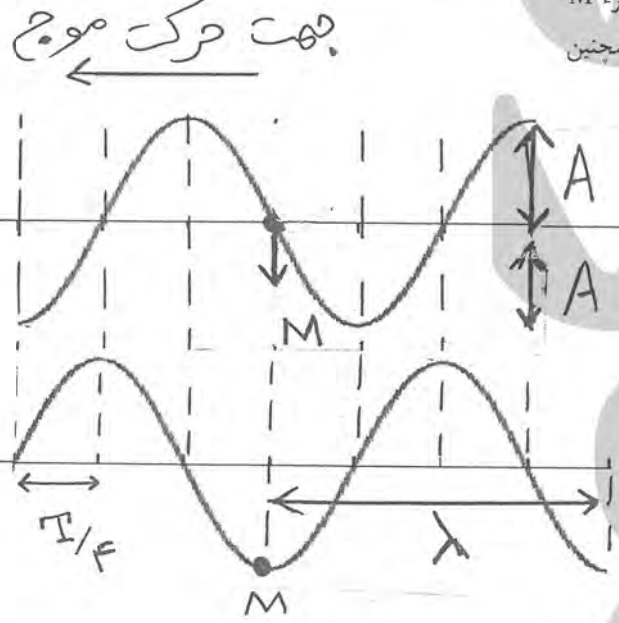
ص ۶۷ | ف ۳ | ک ۱۲

**۱۳.** شکل زیر یک تصویر لحظه‌ای از موجی عرضی در یک ریسمان کشیده شده را نشان می‌دهد. موج به سمت چپ حرکت می‌کند.

الف) با رسم این موج در زمان $T/4$ بعد، نشان دهید جزء M ریسمان در این مدت در چه جهتی حرکت کرده است. همچنین روی این موج، دامنهٔ موج و طول‌موج را نشان دهید.

ب) اگر طول‌موج ۵/۰cm و تندی موج ۱۰cm/s باشد، بسامد موج را به‌دست آورید.

پ) تعیین کنید موج در مدت $T/4$ چه مسافتی را پیموده است؟




ب) $\lambda = \frac{v}{f}$

$f = \frac{۱۰}{۵} = ۲ Hz$

پ) روش اول

هر دوره به اندازه $\lambda$ پیش می‌رود

$\Delta x = \frac{\lambda}{۴} \leftarrow T/۴$

$\Delta x = \frac{۵}{۴} = ۱/۲۵ cm$

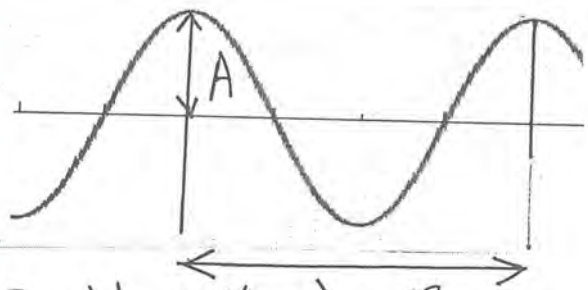
M جلو نمی‌رود بلکه نوسان می‌کند

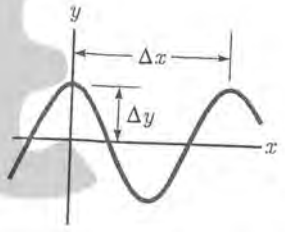
روش دوم:

$T = \frac{۱}{f} = \frac{۱}{۲} s$

$\Delta x = v \Delta t = (۱۰)\left(\frac{\frac{۱}{۲}}{۴}\right) = ۱/۲۵ cm$

**۱۴.** در نمودار جابه‌جایی ـ مکانِ موجِ عرضیِ شکل زیر $\Delta x = ۴۰/۰ cm$ و $\Delta y = ۱۵/۰ cm$ است. اگر بسامد نوسان‌های چشمه ۸/۰۰Hz باشد، طول‌موج، دامنه، تندی و دورهٔ تناوب موج چقدر است؟




طول موج $\Delta x = \lambda = ۴۰ cm$

دامنه $\Delta y = A = ۱۵ cm$

$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow v = ۰/۴ \times ۸ = ۳۲ m/s$

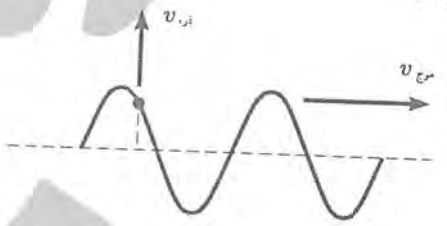
$T = ۱/f = ۱/۸ S$

۸ ت

# عقیل اسکندری

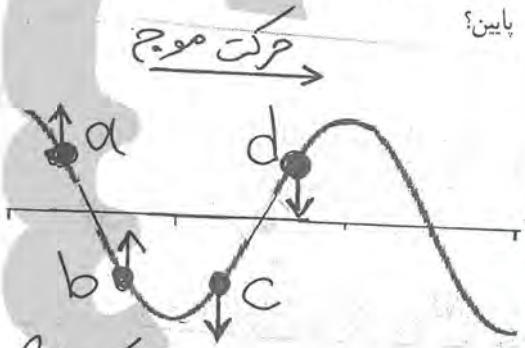
ص ۶۸ | ف ۳ | ک ۱۲

**۱۵.** شکل زیر موجی عرضی در یک ریسمان را نشان می‌دهد که با تندی $v_{موج}$ به سمت راست حرکت می‌کند، درحالی که تندی ذرهٔ نشان داده شدهٔ ریسمان $v_{ذره}$ است. آیا این دو تندی با هم برابرند؟ توضیح دهید.




خیر - موج با تندی ثابت حرکت می‌کند و جهت حرکت آن تغییر نمی‌کند حال آنکه ذرات روی یک مسیر معین نوسان می‌کنند هم اندازه سرعت (تندی) و هم جهت سرعت آنها تغییر می‌کند

**۱۶.** شکل زیر یک موج سینوسی را در لحظه‌ای از زمان نشان می‌دهد که در جهت محور $x$ در طول ریسمان کشیده شده‌ای حرکت می‌کند. چهار جزء از این ریسمان روی شکل نشان داده شده‌اند. در این لحظه هر یک از این چهار جزء بالا می‌روند یا پایین؟




a و b به قله موج نزدیک شدند

c و d به دره موج نزدیک شدند

**۱۷.** سیمی با چگالی $7/80\,g/cm^3$ و سطح مقطع $0/50\,mm^2$ بین دو نقطه با نیروی $156\,N$ کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی را در این سیم محاسبه کنید.

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

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V$$

سیم یک استوانه است

$$V = AL \rightarrow m = \rho AL$$

حجم

$$v = \sqrt{\frac{FL}{\rho AL}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

تندی $v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$

$$v = \sqrt{\frac{156}{7/8 \times 10^{3} \times 0/5 \times 10^{-6}}}$$

$kg/m^3$ $\quad m^2$

$$v = \sqrt{\frac{156000 \times 2}{7/8}}$$

$$v = 200\ m/s$$

۹ ت

# عقیل اسکندری

ص ۹۶ | ف ۳ | ک ۱۲

**۱۸.** شکل زیر طیف موج‌های الکترومغناطیسی را با یک مقیاس تقریبی نشان می‌دهد.

الف) نام قسمت‌هایی از طیف را که با حروف علامت‌گذاری شده‌اند، بنویسید.

ب) اگر در طول طیف از چپ به راست حرکت کنیم، مقدار کدام مشخصه‌های موج افزایش یا کاهش می‌یابد و کدام ثابت می‌ماند؟

| S′ | S | R | Q | P | پرتوهای x | پرتوهای γ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| رادیویی | میکروموج | فروسرخ | مرئی | فرا بنفش | اشعه ایکس | گاما |

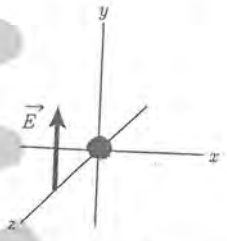
(یک ↑ ستون کم) از چپ به راست می رویم (در شرایط خلأ)

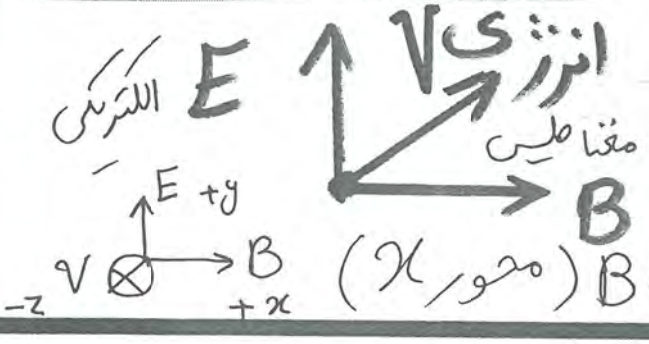
طول موج افزایش ـ دوره افزایش ـ فرکانس کاهش

انرژی هر فوتون کاهش ـ سرعت انتشار همگن برابر

قدرت نفوذ کاهش ـ شکست نور افزایش

**۱۹.** شکل زیر میدان الکتریکی یک موج الکترومغناطیسی سینوسی را در نقطه‌ای معیّن و دور از چشمه، در یک لحظه نشان می‌دهد. موج انرژی را در خلاف جهت محور $z$ انتقال می‌دهد. جهت میدان مغناطیسی موج را در این نقطه و این لحظه تعیین کنید.




طبق قاعده دست راست

سوی خم شدن انگشتان موافق B (محور x)

۱۰ ت

# عقیل اسکندری

ص ۷۰ | ف ۳ | ک ۱۲

**۲۰.** الف) طول‌موج نور نارنجی در هوا حدود $6/20 \times 10^{-7}\,m$ است، بسامد این نور چند هرتز است؟
ب) بسامد نور قرمز در حدود $4/30 \times 10^{14}\,Hz$ است. طول‌موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا $3/0 \times 10^8\,m/s$ و در آب $2/25 \times 10^8\,m/s$ فرض کنید.)

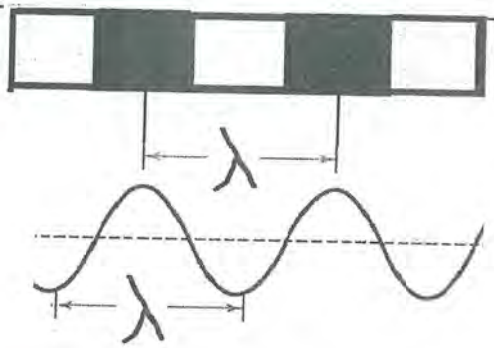
$\lambda = \frac{c}{f}$ (سرعت نور در هوا)

(الف) $f = \frac{3 \times 10^8}{6/2 \times 10^{-7}} = 4/8 \times 10^{14}$

ب) $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4/3 \times 10^{14}} = 6/9 \times 10^{-7}\,m$ در هوا

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2/25 \times 10^8}{4/3 \times 10^{14}} = 5/2 \times 10^{-7}\,m$ در آب

(یادآوری: وقتی نور از هوا وارد آب شود $v$ و $\lambda$ کم می‌شود)




**۲۱.** چشمهٔ موجی با بسامد ۱۰ Hz در یک محیط که تندی انتشار موج در آن ۱۰۰ m/s است، نوسان‌هایی طولی ایجاد می‌کند. اگر دامنهٔ نوسان‌ها ۴/۰ cm باشد، ← غیرلازم
الف) فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی این موج چقدر است؟
ب) فاصلهٔ بین یک تراکم و یک انبساط متوالی چقدر است؟

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{100}{10} = 10\,m$

الف) تراکم - تراکم $(\lambda = 10\,m)$

ب) تراکم - انبساط $(\frac{\lambda}{2} = 5\,m)$

**۲۲.** عقرب‌های ماسه‌ای وجود طعمه را با امواجی که بر اثر حرکت طعمه در ساحل شنی ایجاد می‌شود، احساس می‌کنند. این امواج که در سطح ماسه منتشر می‌شوند، بر دو نوع‌اند: امواج عرضی با تندی $v_T = 50\,m/s$ و امواج طولی با تندی $v_L = 150\,m/s$. عقرب ماسه‌ای می‌تواند با استفاده از اختلاف زمانی بین زمان رسیدن این امواج به نزدیک‌ترین پای خود، فاصلهٔ خود از طعمه را تعیین کند. اگر این اختلاف زمان برابر $\Delta t = 4/0\,ms$ باشد، طعمه در چه فاصله‌ای از عقرب قرار دارد؟

موج طولی زودتر می‌رسد

$V = 150 - 50 = 100$

موج عرضی دیرتر می‌رسد

$\Delta x = V\,\Delta t = 100 \times 4 \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-1} = 40\,cm$ میلی

علت تفریق دو تندی، مثل این است که یکی ایستاده و دیگری تندی $100\,m/s$

۱۱ ت

# عقیل اسکندری

ص ۷۱ | ف ۳ | ک ۱۲

**۲۳.** توضیح دهید کدام یک از عامل‌های زیر بر تندی صوت در هوا مؤثر است.

الف) شکل موج ب) دامنهٔ موج پ) بسامد موج ت) دمای هوا

تندی صوت به جنس محیط انتشار صوت و دمای آن بستگی دارد و شکل یا دامنه یا بسامد صوت مهم نیست.

$v_{\text{گاز}} > v_{\text{مایع}} > v_{\text{جامد}}$ (استثناء وجود دارد)

ودر ضمن افزایش دما معمولاً افزایش تندی صوت را همراه دارد

**۲۴.** در سونوگرافی معمولاً از کاوه‌ای[1] دستی موسوم به *تراگذار فراصوتی*[2] برای تشخیص پزشکی استفاده می‌شود که دقیقاً روی ناحیهٔ موردنظر از بدن بیمار گذاشته و حرکت داده می‌شود. این کاوه در بسامد ۶/۷MHz عمل می‌کند.

تراگذار فراصوتی

الف) بسامد زاویه‌ای در این کاوهٔ نوسان چقدر است؟

ب) اگر تندی موج صوتی در بافتی نرم از بدن ۱۵۰۰m/s باشد، طول‌موج این موج در این بافت چقدر است؟

الف

$\omega = 2\pi f$ (مگا)

$\omega = 2\pi(6/7 \times 10^6) = 13/4 \times 10^6\ \pi\ rad/s$

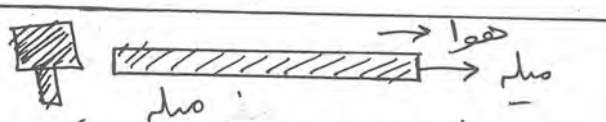
ب

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{6/7 \times 10^6} = 2/23 \times 10^{-4}\ m = 0/223\ mm$

**۲۵.** تندی صوت در یک فلز خاص، برابر $v_{\text{فلز}}$ است. به یک سر لولهٔ توخالی بلندی از جنس این فلز به طول $L$ ضربهٔ محکمی می‌زنیم. شنونده‌ای که در سر دیگر این لوله قرار دارد دو صدا را می‌شنود. یکی ناشی از موجی است که از دیوارهٔ لوله می‌گذرد و دیگری از موجی است که از طریق هوای داخل لوله عبور می‌کند.

الف) اگر تندی صوت در هوا $v_{\text{هوا}}$ باشد، بازهٔ زمانی $\Delta t$ بین دریافت این دو صدا در گوش شنونده چقدر خواهد بود؟

ب) اگر $\Delta t = 1/00\text{s}$ و فلز از جنس فولاد باشد، طول $L$ لوله چقدر است؟ ($v_{\text{هوا}} = 340\text{m/s}$)




حکش؟

(الف) $\Delta t = t_{\text{میله}} - t_{\text{هوا}}$

$\Delta x_{\text{میله}} = \Delta x_{\text{هوا}} \rightarrow 5950\, t_{\text{میله}} = 340\, t_{\text{هوا}}$

$t_{\text{هوا}} = 17/5\, t_{\text{میله}}$

$t_{\text{هوا}} - t_{\text{میله}} = 1 \rightarrow t_{\text{میله}} = \frac{1}{16/5}$

$\Delta x_{\text{میله}} = 5950 \times \frac{1}{16/5} = 360\ m$

$\Delta x_{\text{هوا}} = 340 \times \frac{17/5}{16/5} = 360\ m$

و $v = 5950$ فولاد

ت ۱۲

# عقیل اسکندری

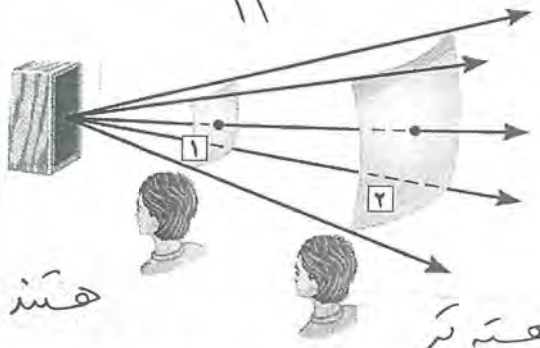
ص ۷۲ | ف ۳ | ک ۱۲

**۲۶.** موجی صوتی با توان $1/2\times10^{-4}W$ عمود بر جهت انتشار از دو صفحهٔ فرضی (شکل ۳ـ۲۶) می‌گذرد. با فرض اینکه مساحت صفحه‌ها به‌ترتیب $A_1=4/0m^2$ و $A_2=12m^2$ باشد، شدت صوت در دو سطح را تعیین کنید و توضیح دهید چرا شنونده در محل صفحهٔ دوم، صدا را آهسته‌تر می‌شنود.

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

$$I_1=\frac{1/2\times10^{-4}}{4}=3\times10^{-5}\ W/m^2$$

$$I_2=\frac{1/2\times10^{-4}}{12}=1\times10^{-5}\ W/m^2$$




از فرمول که به سادگی درمی یابیم اگر P ثابت و A زیاد شود I کم می شود در شکل تراکم انرژی برای صفحهٔ دوم کمتر از صفحهٔ اول است پس صدا آهسته تر شنیده می شود درواقع این صفحه‌ها قسمتی از کره های جبهه موج هستند

**۲۷.** شدت صدای حاصل از یک متهٔ سنگ‌شکن در فاصلهٔ ۱۰/۰m از آن $1/0\times10^{-2}W/m^2$ است. تراز شدت صوتی آن برحسب dB چقدر می‌شود؟

$$\beta=10\log\frac{I}{I_0}$$

$$\beta=10\log\frac{1\times10^{-2}}{10^{-12}}=10\log10^{10}=100\log10=100\ dB$$

**۲۸.** اگر به مدت ۱۰ دقیقه در معرض صوتی با تراز شدت ۱۲۰dB باشیم، آستانهٔ شنوایی به‌طور موقت از ۰dB به ۲۸dB افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده است که به‌طور متوسط اگر به مدت ۱۰ سال در معرض صدایی با تراز شدت ۹۲dB قرار گیریم، آستانهٔ شنوایی به‌طور دائم به ۲۸dB افزایش می‌یابد. شدت‌های صوت مربوط به ۲۸dB و ۹۲dB چقدر است؟ (راهنمایی : برای پاسخ دادن لازم است از ماشین‌حساب مناسب استفاده کنید.) $\log7=0/8$ و $\log1/4=0/2$ فرض

$$\beta=10\log\frac{I}{I_0}\rightarrow10\log\frac{I}{I_0}=28$$

$$\log\frac{I}{I_0}=2/8\rightarrow I=10^{2/8}\times10^{-12}$$

$$I=10^{0/8}\times10^{2}\times10^{-12}=10^{\log7}\times10^{-10}$$

$$I_1=7\times10^{-10}\ W/m^2$$

$$10\log\frac{I}{I_0}=92\rightarrow I=10^{9/2}\times10^{-12}$$

$$I=10^{0/2}\times10^{9}\times10^{-12}=10^{0/2}\times10^{-3}=10^{\log1/4}\times10^{-3}=1/4\times10^{-3}\ W/m^2$$

یعنی اگر گوش در معرض صدای شدید باشد حساسیت خود را از دست می دهد

ت ۱۳

# عقیل اسکندری

ص ۷۳ | ف ۳ | ک ۱۲

**۳۹.** یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت $\beta_1=۹۰/۰\,dB$ و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت $\beta_2=۹۵/۰\,dB$ ایجاد می‌کند. شدت‌های مربوط به این دو تراز (برحسب $W/m^2$) به ترتیب $I_1$ و $I_2$ هستند. نسبت $I_2/I_1$ را تعیین کنید. فرض $\log ۳=۰/۵$

$$B=۱۰\log\frac{I}{I_0}$$

$$۱۰\log\frac{I_1}{I_0}=۹۰$$
$$۱۰\log\frac{I_2}{I_0}=۹۵$$

$$B_2-B_1=۱۰\log\frac{I_2}{I_1}$$
$$۹۵-۹۰=۱۰\log\frac{I_2}{I_1}$$
$$۵=۱۰\log\frac{I_2}{I_1}$$

$$\log\frac{I_2}{I_1}=۰/۵=\log ۳\rightarrow\frac{I_2}{I_1}=۳$$

توجه: اگر $I_1$ و $I_2$ را می‌خواست:

$$\log\frac{I_1}{I_0}=۹\rightarrow I_1=۱۰^{۹}\times۱۰^{-۱۲}=۱۰^{-۳}\ W/m^2$$

$$\log\frac{I_2}{I_0}=۹/۵\rightarrow I_2=۱۰^{۹/۵}\times۱۰^{-۱۲}=۱۰^{/۵-۳}\times۱۰^{-۳}=۳\times۱۰^{-۳}\ W/m^2$$

$$\frac{I_2}{I_1}=\frac{۳\times۱۰^{-۳}}{۱۰^{-۳}}=۳$$

$\log ۳=۰/۵$ ↑ $۱۰^{۰/۵}=۳$

**۳۰.** در یک آتش‌بازی، موشکی در بالای آسمان منفجر می‌شود. فرض کنید صوت به‌طور یکنواخت در تمام جهت‌ها منتشر شود. از جذب انرژی صوتی در محیط و نیز از بازتابی که ممکن است امواج صوتی از زمین پیدا کند چشم‌پوشی کنید. با فرض اینکه صوت با شدت $I=۰/۱۰\,W/m^2$ به شنونده‌ای برسد که به فاصلهٔ $r_1=۶۴۰\,m$ از محل انفجار قرار دارد، این صوت به شنونده‌ای که در فاصلهٔ $r_2=۱۶۰\,m$ از محل انفجار قرار دارد با چه شدتی می‌رسد؟

صوت به صورت موج کروی

$$I=\frac{P}{A}=\frac{P}{۴\pi r^2}$$

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

$$\frac{I_2}{۰/۱}=\left(\frac{۶۴۰}{۱۶۰}\right)^2\rightarrow I_2=۰/۱\times۱۶=۱/۶\ W/m^2$$

این عدد از $I=۱$ (آستانه دردناکی گوش) بیشتر است

۱۴ ات

# عقیل اسکندری

ص ۷۴ | ف ۳ | ک ۱۲

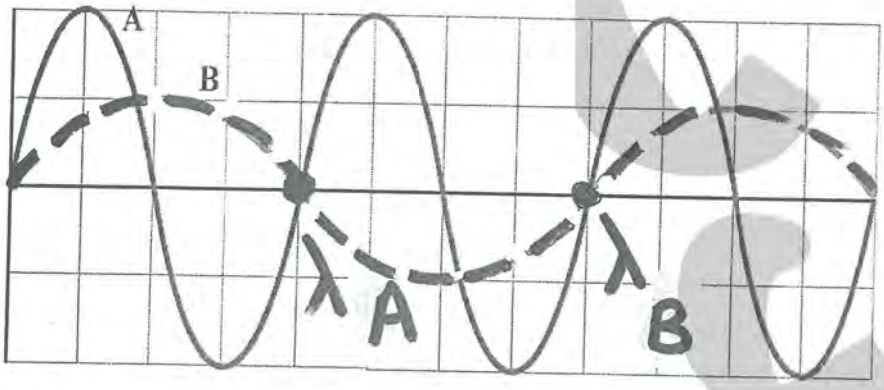
**۳۱.** نمودار جابه‌جایی ـ مکان دو موج صوتی A و B که در یک محیط منتشر شده‌اند، به‌صورت زیر است. دامنه، طول‌موج، بسامد و شدت این دو موج صوتی را با هم مقایسه کنید.

چون محیط انتشار یکی است

$v_A = v_B$

$A_A = 2A_B$

$2\lambda_A = \lambda_B$



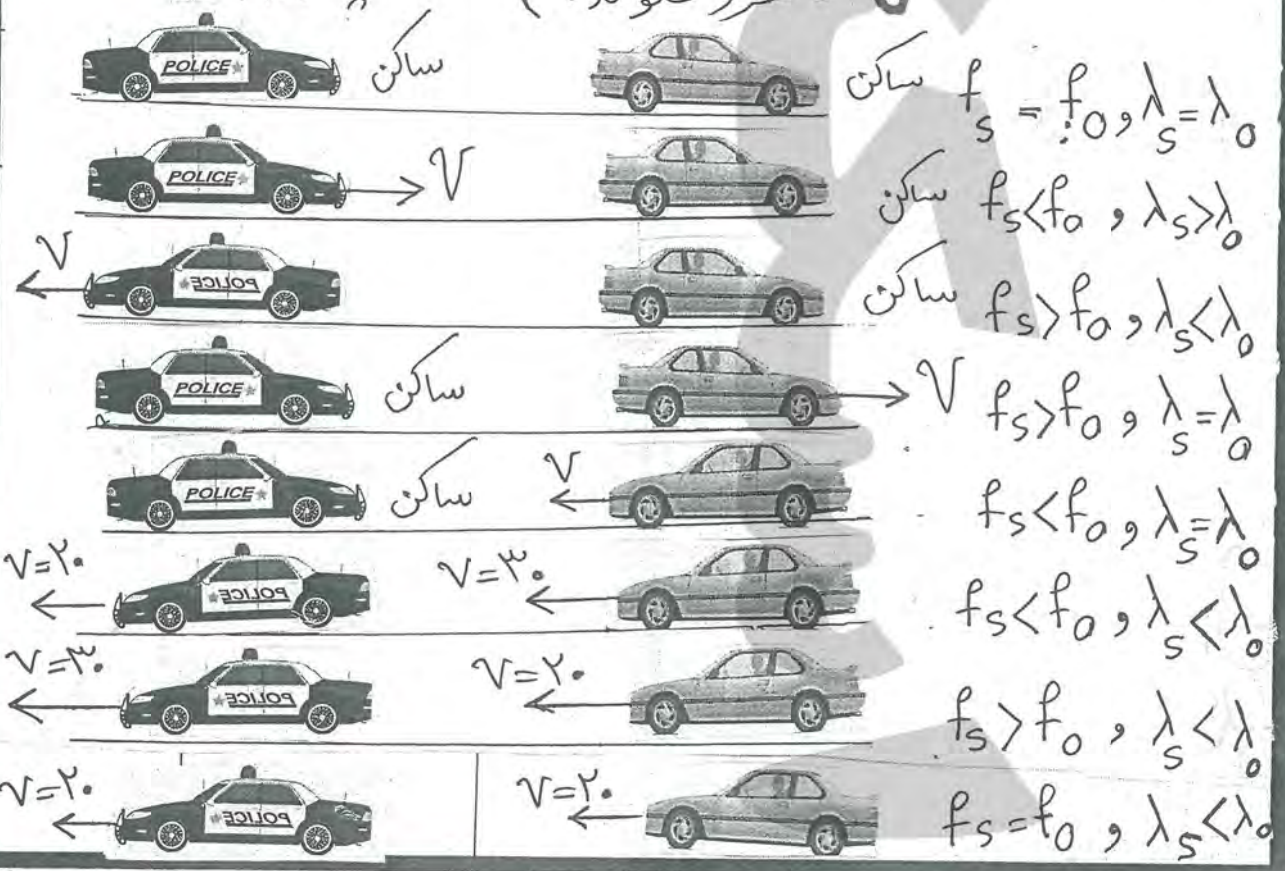

$\lambda = \frac{v}{f}$

$\frac{f_A}{f_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} = 2$

**۳۲.** شکل زیر جهت‌های حرکت یک چشمهٔ صوتی و یک ناظر (شنونده) را در وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد.

بسامدی را که ناظر در حالت‌های مختلف می‌شنود با حالت الف مقایسه کنید.

چشمه S — ناظر (شنونده) O




ساکن $f_s = f_o, \lambda_s = \lambda_o$

ساکن $f_s < f_o, \lambda_s > \lambda_o$

ساکن $f_s > f_o, \lambda_s < \lambda_o$

$f_s > f_o, \lambda_s = \lambda_o$

$f_s < f_o, \lambda_s = \lambda_o$

$f_s < f_o, \lambda_s > \lambda_o$

$f_s > f_o, \lambda_s < \lambda_o$

$f_s = f_o, \lambda_s < \lambda_o$

اگر نزدیک شوند $f_s < f_o$ دور شوند $f_s > f_o$

سرعت O مهم نیست { دور شود $\lambda_s > \lambda_o$ ، نزدیک شود $\lambda_s < \lambda_o$