

## مفهوم موج مکانیکی و سرعت انتشار آن در محیط

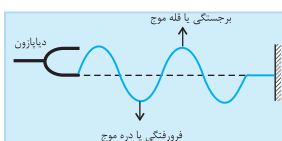
### تعریف موج مکانیکی و ویژگی‌های آن

**تعریف موج مکانیکی:** وضعیتی که در اثر انتشار آشفتگی‌های پی‌درپی در ذرات محیط مادی و کشسان به وجود می‌آید، اصطلاحاً «موج مکانیکی» نامیده می‌شود. موج ایجاد شده در طول طناب، فنر و سطح آب و صوت نمونه‌هایی از موج‌های مکانیکی‌اند. (دقت کنید که نور از دسته موج‌های الکترومغناطیسی است که برای انتشار به محیط مدی نیاز ندارد و در فصل بعد به آن می‌پردازیم).

**تپ:** تغییر شکل یا آشفتگی ایجاد شده در یک جزء از محیط کشسان که در حال تعادل است، «تپ» نامیده شده و انتقال تپ در محیط را انتشار می‌گوییم.

**چشمه‌ی موج سینوسی:** چشمه‌ی موج سینوسی، نوسانگری است که می‌تواند با بسامد (یا دوره) و دامنه‌ی ثابتی، حرکت هماهنگ ساده انجام دهد. (مانند دیپازون) در این حالت بسامد موج برابر بسامد چشمه‌ی موج است.

### ویژگی‌های موج‌های مکانیکی:



۱. برای تولید و انتشار آن وجود یک محیط مادی و کشسان الزامی است. این موج‌ها در خلأ منتشر نمی‌شوند.

۲. انرژی را از ذره‌ای به ذره‌ای دیگر منتقل می‌کنند.

۳. همه‌ی ذره‌های محیط با همان بسامد چشمه‌ی موج به نوسان درمی‌آیند.

۴. با انتشار موج، ذره‌های محیط در اطراف وضع تعادل خود نوسان می‌کنند، اما همراه با موج منتقل نمی‌شوند.

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

۲. جابه‌جایی موج در محیط همگن از رابطه‌ی  $\Delta x = v\Delta t$  به دست می‌آید.

۳. سرعت انتشار موج مکانیکی در یک محیط به ویژگی‌های فیزیکی محیط (جنس، دما و ...) بستگی دارد، در نتیجه اگر موج از یک محیط وارد محیط دیگری شود، سرعت انتشار آن تغییر می‌کند.

۴. سرعت انتشار موج مکانیکی به شرایط فیزیکی چشمه‌ی موج (بسامد، دامنه، شکل موج و انرژی آن) بستگی ندارد.

### رابطه‌ی سرعت انتشار موج در طناب یا تار

**سرعت انتشار موج عرضی در طناب یا تار:** سرعت انتشار موج عرضی در طناب (و یا در تار) یکنواختی به جرم  $m$  و طول  $L$  از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

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

در این رابطه  $F$  نیروی کشش طناب یا تار برحسب نیوتون،  $\mu$ ، جرم واحد طول طناب برحسب کیلوگرم بر متر و  $v$  سرعت انتشار موج مکانیکی در طناب برحسب متر بر ثانیه است.

۱. وقتی طول یک طناب نصف شود، جرم آن نیز نصف شده و  $\mu = \frac{m}{L}$  ثابت می‌ماند، در نتیجه برای بررسی تغییر سرعت، تغییر طول تار را در نظر نمی‌گیریم.

۲. اگر با کشیدن یا دولا کردن تار (یا طنابی)، جرم آن بدون تغییر مانده و طول آن تغییر کند، برای بررسی سرعت آن باید تغییر طول آن را در نظر بگیریم.

### اثر جنس (چگالی) و سطح مقطع طناب یا تار در سرعت انتشار موج

اگر مساحت سطح مقطع طناب یا تار برابر  $A$ ، قطر مقطع آن برابر  $D$  و چگالی آن  $\rho$  باشد، سرعت انتشار موج در آن را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \quad m = \rho V \rightarrow v = \sqrt{\frac{FL}{\rho V}} \quad V = AL \rightarrow v = \sqrt{\frac{FL}{\rho AL}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \quad A = \pi \frac{D^2}{4} \rightarrow v = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$$

سرعت انتشار موج در تار یا طناب با قطر تار، جذر چگالی و جذر سطح مقطع آن نسبت معکوس دارد.

### مقایسه‌ی سرعت انتشار موج در دو طناب یا تار

می‌دانیم که سرعت انتشار موج عرضی در یک طناب یا تار به صورت زیر محاسبه می‌شود. (دقت کنید که بسته به معلومات داده شده از رابطه‌ی مناسب

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{FL}{m}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}} \quad (\text{استفاده می‌کنیم.})$$

بنابراین برای مقایسه‌ی سرعت انتشار موج عرضی در دو تار (و یا یک تار با تغییر شرایط) به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1} \times \frac{\mu_1}{\mu_2}} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1} \times \frac{L_1}{L_2} \times \frac{m_1}{m_2}} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1} \times \frac{\rho_1}{\rho_2} \times \frac{A_1}{A_2}} = \frac{D_1}{D_2} \times \sqrt{\frac{F_2}{F_1} \times \frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

## کنکورهای سراسری داخل و خارج کشور

## موج و عامل‌های مؤثر بر سرعت انتشار موج مکانیکی در یک محیط

۴۹۵- سیمی به طول یک متر و جرم ۴ گرم بین دو نقطه‌ی ثابت بسته شده است. اگر نیروی کشش سیم  $10^0$  نیوتون باشد، سرعت انتقال امواج عرضی در آن چند متر بر ثانیه است؟

(فیزیک پیش ریاضی و تجربی مثال ۴-۱) (سراسری خارج از کشور ریاضی-۹۰)

(۱) ۲۰ (۲) ۲۵ (۳) ۴۰ (۴) ۵۰

۴۹۶- تار به جرم  $16^0$  گرم و به طول  $8^0$  cm بین دو نقطه با نیروی کشش  $2^0$  نیوتون محکم بسته شده است. سرعت انتشار موج عرضی در این تار چند متر بر ثانیه است؟

(سراسری تجربی ۸۸- مشابه سراسری ریاضی ۷۴)

(۱) ۱۰ (۲) ۲۰ (۳) ۴۰ (۴) ۱۰۰

۴۹۷- اگر نیروی کشش تار  $128N$  باشد، سرعت انتشار موج عرضی در آن  $16^0 \frac{m}{s}$  است. نیروی کشش تار را چند نیوتون افزایش دهیم تا سرعت انتشار موج در آن  $20^0 \frac{m}{s}$  شود؟

(سراسری خارج از کشور تجربی-۸۹)

(۱) ۳۲ (۲) ۷۲ (۳) ۱۶۰ (۴) ۲۰۰

## اثر جنس (چگالی) و سطح مقطع طناب یا تار در سرعت انتشار موج

۴۹۸- مساحت مقطع یک سیم  $10^{-6}$  مترمربع و چگالی آن  $\frac{g}{cm^3}$   $6/4$  است. اگر این سیم با نیروی  $4$  نیوتون کشیده شود، سرعت انتشار امواج عرضی در آن چند متر بر ثانیه است؟

(سراسری ریاضی-۸۸)

(۱) ۲۵ (۲)  $5 \times 10^3$  (۳) ۲۵۰ (۴) ۵۰

۴۹۹- سیمی با چگالی  $8 \frac{g}{cm^3}$  و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع بین دو نقطه با نیروی  $8^0$  نیوتون کشیده شده است. سرعت انتشار موج عرضی در این سیم چند متر بر ثانیه است؟

(فیزیک پیش- فصل ۴- ریاضی تمرین ۷- تجربی تمرین ۶) (سراسری ریاضی-۸۶)

(۱) ۱۰۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۳۰۰ (۴) ۴۰۰

۵۰۰- قطر مقطع یک سیم مرتعش یک میلی‌متر، چگالی آن  $8 \frac{g}{cm^3}$  و طول آن  $8^0$  cm است. اگر یک موج عرضی در مدت  $2/0\%$  ثانیه طول سیم را طی کند، نیروی کشش سیم چند نیوتون است؟ ( $\pi = 3$ )

(سراسری ریاضی-۸۹)

(۱)  $4/8$  (۲)  $9/6$  (۳)  $12/4$  (۴)  $16/2$

## مقایسه‌ی سرعت انتشار موج در دو حالت

۵۰۱- نیروی کشش تار را دو برابر و طول آن را نصف می‌کنیم. سرعت انتشار موج در آن چند برابر می‌شود؟

(فیزیک پیش- فصل ۴- ریاضی تمرین ۵- تجربی تمرین ۴) (سراسری ریاضی-۷۲)

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

۵۰۲- سرعت انتشار موج عرضی در یک تار،  $10^0 \frac{m}{s}$  است. نیروی کشش این تار را چند درصد افزایش دهیم، تا سرعت انتشار موج در آن به  $11^0 \frac{m}{s}$  برسد؟

(سراسری تجربی-۹۱)

(۱)  $\sqrt{10}$  (۲) ۱۰ (۳)  $\sqrt{21}$  (۴) ۲۱

## آزمون‌های کنکور و سایر

۵۰۳- اگر بسامد نوسان یک چشمه‌ی موج در یک محیط ۲ برابر شود، سرعت انتشار موج در آن محیط چه تغییری می‌کند؟

(فیزیک پیش ریاضی و تجربی- فصل ۴- تمرین ۲) (آزاد ریاضی-۸۸)

(۱) ۲ برابر می‌شود. (۲) تغییر نمی‌کند.

(۳) ۴ برابر می‌شود. (۴)  $\frac{1}{4}$  برابر می‌شود.

۵۰۴- اگر دامنه‌ی نوسان یک چشمه‌ی موج ۲ برابر شود، سرعت انتشار موج در محیط چه تغییری می‌کند؟

- (۱) ۲ برابر می‌شود. (۲)  $\frac{1}{4}$  برابر می‌شود. (۳) تغییر نمی‌کند. (۴)  $\frac{1}{2}$  برابر می‌شود.

۵۰۵- سرعت انتشار موج‌های عرضی در طول یک ریسمان با نیروی کشش آن چه نسبتی دارد؟

- (۱) با جذر آن نسبت مستقیم (۲) با مجذور آن نسبت مستقیم  
(۳) با جذر آن نسبت عکس (۴) با مجذور آن نسبت عکس

۵۰۶- سرعت انتشار موج‌های عرضی در طول یک طناب با جرم واحد طول طناب چه نسبتی دارد؟

- (۱) با جذر آن معکوس (۲) با جذر آن مستقیم  
(۳) با مجذور آن مستقیم (۴) با مجذور آن معکوس

۵۰۷- تار مرتعشی به طول ۶۰ سانتی‌متر و جرم ۳۰ گرم بین دو نقطه محکم کشیده شده است. اگر نیروی کشش آن ۲۰ نیوتون باشد، سرعت انتشار موج‌های

عرضی در این تار چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۲۰ (۲) ۴۰ (۳) ۳۰ (۴) ۱۰

۵۰۸- ریسمانی به طول ۸۰ سانتی‌متر و جرم ۵۰ گرم بین دو نقطه محکم کشیده شده است. اگر نیروی کشش ریسمان برابر ۴ نیوتون باشد، سرعت انتشار موج‌های

عرضی در این طناب چند متر بر ثانیه است؟

- (۱) ۸۰ (۲) ۱۶ (۳) ۸ (۴) ۱۶۰

۵۰۹- سیمی به طول ۸۰ سانتی‌متر بین دو نقطه با نیروی کشش ۳۲N کشیده شده است. اگر سرعت انتشار موج‌های عرضی در این سیم  $16 \frac{m}{s}$  باشد، جرم سیم چند

گرم است؟

- (۱) ۱۰ (۲) ۲۰ (۳) ۲۰۰ (۴) ۱۰۰

۵۱۰- سرعت انتشار ارتعاشات عرضی در یک سیم با قطر مقطع سیم و طول آن به ترتیب چه نسبتی دارد؟

- (۱) مستقیم، بستگی ندارد. (۲) معکوس، مستقیم  
(۳) معکوس، بستگی ندارد. (۴) مستقیم، معکوس

۵۱۱- سرعت انتشار موج در طنابی به طول L با نیروی کشش F برابر ۷ است. اگر طول طناب را ثابت نگه داریم، اما نیروی کشش را ۴ برابر کنیم، سرعت انتشار

موج در آن چند برابر می‌شود؟

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

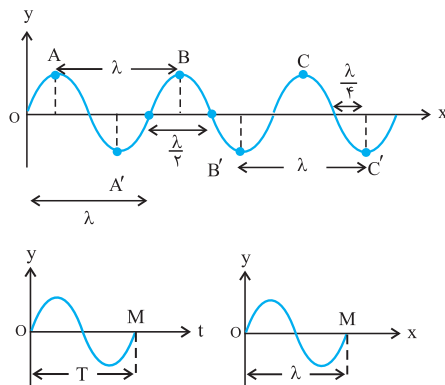
۵۱۲- نیروی کشش سیم مسی A دو برابر نیروی کششی سیم مسی B است. اگر قطر سطح مقطع سیم مسی A نصف قطر سطح مقطع سیم مسی B باشد،

سرعت انتشار امواج عرضی در سیم A چند برابر سرعت انتشار امواج عرضی در سیم B است؟

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

## طول موج، نقطه‌های هم‌فاز و در فاز مخالف

## رابطه‌ی طول موج با سرعت انتشار موج و بسامد آن



**طول موج:** مسافتی را که موج در مدت یک دوره (T) می‌پیماید، طول موج می‌نامیم. طول موج را با (λ) نشان می‌دهند.

۱. فاصله‌ی دو قله‌ی متوالی موج و یا فاصله‌ی دو دره‌ی متوالی موج برابر یک طول موج است.

۲. رابطه‌ی طول موج (λ) با سرعت (v) و بسامد (f) یا دوره (T) به‌صورت زیر است:

$$\lambda = v \cdot T \xrightarrow{T = \frac{1}{f}} \lambda = \frac{v}{f}$$

۳. نقش موج، تصویر محیط انتشار موج در یک لحظه است.

۴. در نمودار y-x مقابل وقتی موج در محیط به اندازه‌ی یک طول موج پیشروی کند، مدت زمانی برابر یک دوره طی خواهد شد، که در این مدت، ذره‌ی O محیط (در این جا نقش چشمه‌ی موج را دارد) یک نوسان کامل انجام می‌دهد.

## عبور یک موج از محیطی به محیط دیگر

وقتی موج از محیطی به محیط دیگر وارد شود، **بسامد آن ثابت می‌ماند**، اما سرعت انتشار آن تغییر خواهد کرد، در نتیجه طول موج آن نیز متناسب با سرعت انتشار موج تغییر خواهد کرد. در این حالت می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد.

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{f = \text{ثابت}} \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

## نقطه‌های هم‌فاز در محیط انتشار موج

**نقطه‌های هم‌فاز:** نقطه‌هایی از محیط که همواره در وضعیت نوسانی مشابهی قرار دارند، (مکان و سرعت نوسانی یکسان دارند)، نقطه‌های هم‌فاز نامیده می‌شوند. این نقطه‌ها در حین نوسان، با هم به انتهای مسیر می‌رسند و با هم از وضع تعادل عبور می‌کنند و با هم تغییر جهت می‌دهند.

## ویژگی‌های نقطه‌های هم‌فاز:

۱. در هر لحظه مکان آن‌ها یکسان است.  $y_A = y_B$

۲. در هر لحظه سرعت آن‌ها هم‌اندازه و هم‌جهت است.  $\vec{v}_A = \vec{v}_B$

۳. در هر لحظه اختلاف فاز آن‌ها مضرب زوجی از  $\pi$  رادیان است. یعنی:  $\Delta\phi = 2n\pi$

۴. در هر لحظه فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر مضرب صحیحی از طول موج یا مضرب زوجی از نصف طول موج است. یعنی:

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

۵. زمان لازم برای انتقال موج از یک نقطه تا n امین نقطه‌ی هم‌فاز با آن، مضرب زوجی از نصف دوره‌ی نوسان یا مضرب صحیحی از دوره‌ی نوسان است.

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

یعنی:

۶. کم‌ترین فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی هم‌فاز در محیط انتشار موج، برابر λ است.

## نقطه‌های در فاز مخالف در محیط انتشار موج

**نقطه‌های در فاز مخالف:** نقطه‌هایی از محیط که حرکت آن‌ها همواره در جهت‌های مخالف یک‌دیگر و مکان آن‌ها قرینه باشد، نقطه‌های در فاز مخالف نامیده می‌شوند.

## ویژگی‌های نقطه‌های در فاز مخالف:

$$y_A = -y_B$$

۱. در هر لحظه مکان آن‌ها قرینه است.

$$\vec{v}_A = -\vec{v}_B$$

۲. در هر لحظه اندازه‌ی سرعت آن‌ها با هم برابر و در خلاف جهت هم می‌باشند.

$$\Delta\varphi = (2n-1)\pi$$

۳. در هر لحظه اختلاف فاز آن‌ها مضرب فردی از  $\pi$  رادیان است. یعنی:

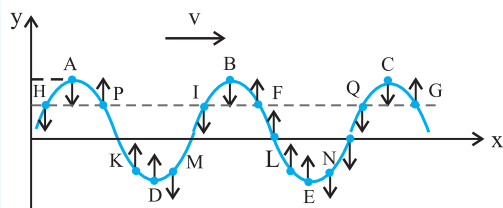
$$\Delta x = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$

۴. در هر لحظه فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر مضرب فردی از نصف طول موج است. یعنی:

۵. زمان لازم برای انتقال موج از یک نقطه تا  $n$  امین نقطه‌ی در فاز مخالف با آن، مضرب فردی از نصف دوره‌ی نوسان  $(\frac{T}{2})$  است. یعنی:

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

۶. کم‌ترین فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی در فاز مخالف، در محیط انتشار موج برابر  $\frac{\lambda}{2}$  است.



۷. در شکل مقابل نقش موجی را که در جهت محور  $x$  منتشر می‌شود، مشاهده می‌کنید. در این شکل، نقطه‌های  $B$  و  $C$  با نقطه‌ی  $A$  هم‌فاز و نقطه‌های  $D$  و  $E$  با نقطه‌ی  $A$  در فاز مخالف‌اند. هم‌چنین نقطه‌های  $F$  و  $G$  با نقطه‌ی  $P$  هم‌فاز و نقطه‌های  $M$  و  $N$  با نقطه‌ی  $P$  در فاز مخالف‌اند.

هم‌چنین در این لحظه در هنگام انتشار موج به طرف راست در محیط نقطه‌های  $P, F, G, M$  و  $N$  از مرکز نوسان خود دور و نقطه‌های  $H, I, K, L$  و  $Q$  به مرکز نوسان در حال نزدیک شدن هستند. دقت کنید هر ذره از محیط انتشار موج تحت تأثیر ذره‌ی قبل از خود حرکت می‌کند و می‌خواهد وضعیت ذره‌ی ماقبل خود را تکرار کند. به عنوان مثال چون ذره‌ی ماقبل ذره‌ی  $P$  به طرف بالا حرکت کرده است، این ذره نیز به طرف بالا حرکت خواهد کرد. (توجه: برای تعیین جهت حرکت هر ذره از محیط انتشار موج به جهت انتشار موج توجه داشته باشید.)

### انواع موج در محیط انتشار آن

#### موج‌های عرضی و طولی

**موج عرضی:** اگر راستای نوسان ذره‌های محیط، عمود بر راستای انتشار موج باشد، موج را عرضی می‌نامند. موج عرضی در فنر و یا در طناب با قله‌ها و دره‌ها قابل تشخیص است.

۱. موج‌های عرضی مکانیکی فقط در جامدها و سطح مایع‌ها منتشر می‌شوند.

**موج طولی:** اگر راستای نوسان ذره‌های محیط، موازی با راستای انتشار موج باشد، موج را طولی می‌نامند. موج‌های طولی در فنر را با تراکم‌ها و انبساط‌های پی‌درپی می‌توان تشخیص داد.

۲. موج طولی در تمام محیط‌های جامد، مایع و گاز منتشر می‌گردد.

۳. در موج‌های طولی، فاصله‌ی بین دو تراکم و یا فاصله‌ی بین دو انبساط متوالی برابر  $\lambda$  و فاصله‌ی بین یک تراکم با انبساط متوالی برابر  $\frac{\lambda}{2}$  است.

#### کنکورهای سراسری داخل و خارج کشور

### رابطه‌ی طول موج با سرعت انتشار موج و بسامد آن

۵۱۳- موج عرضی در یک محیط منتشر می‌شود و فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی آن  $10\text{cm}$  است. اگر سرعت انتشار موج در آن محیط  $5\frac{\text{m}}{\text{s}}$  باشد، بسامد موج

چند هرتز است؟

(سراسری تجربی-۹۲)

۱۰(۴)

۲۵(۳)

۵۰(۲)

۱۰۰(۱)

(سراسری خارج از کشور ریاضی-۸۷)

۵۱۴- موجی با بسامد  $100\text{Hz}$  و طول موج  $5/0$  متر، فاصله‌ی  $10$  متر را در چند ثانیه طی می‌کند؟

$\frac{1}{10}$  (۴)

$\frac{1}{5}$  (۳)

۱۰ (۲)

۵ (۱)

۵۱۵- معادله‌ی حرکت نوسانی چشمه‌ی موجی در SI به صورت  $y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$  است. اگر این نوسان‌ها در یک محیط با سرعت  $20\frac{\text{m}}{\text{s}}$  انتشار یابد و

(سراسری تجربی-۸۷)

طول موج برابر  $8/0$  متر باشد،  $\omega$  چند رادیان بر ثانیه است؟

$200\pi$  (۴)

$100\pi$  (۳)

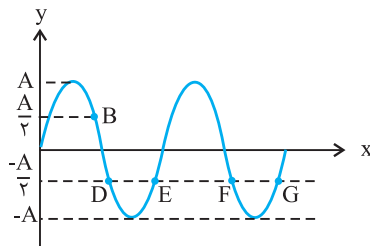
$50\pi$  (۲)

$25\pi$  (۱)

عبور یک موج از محیطی به محیط دیگر

نقطه‌های هم‌فاز و در فاز مخالف و موج‌های طولی و عرضی

- ۵۱۶- دو نقطه که در راستای انتشار موج باشند و فاصله‌شان از یکدیگر مضرب ... باشد آن نقاط همواره با یکدیگر .....  
 تیپ ۲۱۰
- (۱) زوجی که از ربع طول موج - هم فازاند.  
 (۲) فردی از طول موج - در فاز مخالفاند.  
 (۳) زوجی از ربع طول موج - در فاز مخالفاند.  
 (۴) فردی از نصف طول موج - در فاز مخالفاند.
- ۵۱۷- موج عرضی در یک طناب در حال انتشار است. در این مورد، کدام گزینه درست نیست؟  
 (۱) فاصله‌ی بین هر دو نقطه‌ی در فاز مخالف، برابر نصف طول موج است.  
 (۲) اختلاف فاز دو نقطه‌ی هم فاز، مضرب زوجی از  $\pi$  است.  
 (۳) اختلاف فاز دو نقطه در فاز مخالف، مضرب فردی از  $\pi$  است.  
 (۴) فاصله‌ی دو نقطه‌ی متوالی هم فاز، برابر طول موج است.
- ۵۱۸- نقش موج عرضی طنابی، در یک لحظه مطابق شکل روبه‌رو است. کدام یک از نقاط نشان داده شده، با نقطه‌ی B در فاز مخالفاند؟  
 تیپ ۲۱۱
- (فیزیک پیش ریاضی و تجربی - فصل ۴ - پرسش ۴-۱) (سراسری ریاضی - ۹۰)

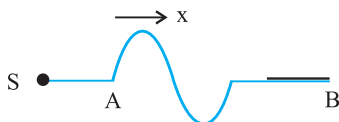


- (۱) F و G  
 (۲) G و D  
 (۳) G و E  
 (۴) F و D

- ۵۱۹- موج عرضی با بسامد  $2/5$  هرتز در سطح آب تولید شده و با سرعت  $5 \frac{m}{s}$  منتشر می‌شود. فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی موج چند سانتی‌متر است؟  
 تیپ ۲۱۲
- (سراسری تجربی - ۸۶)
- (۱) ۱۰ (۲) ۲۰ (۳) ۴۰ (۴) ۶۰
- ۵۲۰- سرعت انتشار موجی  $20 \frac{m}{s}$  و بسامد آن  $50 \text{ Hz}$  است. کم‌ترین فاصله‌ی دو نقطه که در راستای انتشار موج قرار دارند و با یکدیگر هم‌فازند چند سانتی‌متر است؟  
 (فیزیک پیش ریاضی و تجربی - فصل ۴ - تمرین ۴-۴) (سراسری تجربی - ۷۴)
- (۱) ۴۰ (۲) ۸۰ (۳) ۱۵۰ (۴) ۲۰۰
- ۵۲۱- نحوه‌ی انتشار موج‌های مکانیکی در هوا به چه صورت است؟  
 (سراسری تجربی - ۷۷)
- (۱) عرضی و طولی (۲) عرضی (۳) طولی (۴) ساکن

آزمون‌های کانون و سایر

- ۵۲۲- نیروی کشش طنابی  $8 \text{ N}$  و جرم واحد طول آن  $20$  گرم بر متر است. اگر سر این طناب را با دیافازونی که بسامد آن  $50$  هرتز است، عمود بر راستای طناب به نوسان درآوریم، طول موج در طناب چند متر می‌شود؟  
 (فیزیک پیش ریاضی و تجربی - فصل ۴ - مثال ۴-۲) (آزاد تجربی پزشکی صبح - ۹۰)
- (۱)  $0/40$  (۲)  $0/04$  (۳)  $0/25$  (۴)  $2/5$
- ۵۲۳- دو موج با بسامدهای  $f_1 = 50 \text{ Hz}$  و  $f_2 = 75 \text{ Hz}$  در یک محیط منتشر می‌شوند. سرعت انتشار و طول موج برای موج دوم به ترتیب چند برابر سرعت انتشار و طول موج برای موج اول است؟  
 (فیزیک پیش - فصل ۴ - ریاضی تمرین ۸ - تجربی تمرین ۷)
- (۱)  $3/1$  (۲)  $3/2$  (۳)  $2/1$  (۴)  $2/3$
- ۵۲۴- مطابق شکل زیر، موجی عرضی در طول سیم A در حال انتشار است و پس از عبور از آن، در طول سیم B که قطر بیش‌تری دارد، انتشار می‌یابد. در این حالت سرعت انتشار موج، بسامد موج و طول موج آن به ترتیب از راست به چپ چه تغییری می‌کنند؟ (جنس دو سیم یکسان و نیروی کشش ثابت است).  
 (آزمون کانون - ۹۱)



- (۱) کاهش، ثابت، کاهش  
 (۲) کاهش، کاهش، کاهش  
 (۳) کاهش، ثابت، افزایش  
 (۴) ثابت، ثابت، کاهش

## تابع موج

## عدد موج

عدد موج در انتشار موج در یک بعد: عدد موج برابر اختلاف فاز بین دو نقطه از محیط انتشار است که به فاصله‌ی یک متر از یکدیگر و در یک جهت انتشار موج‌اند.

یکای عدد موج در SI،  $\frac{\text{rad}}{\text{m}}$  (رادیان بر متر) است. برای محاسبه‌ی عدد موج از رابطه‌ی مقابل استفاده می‌کنیم:

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

تابع موج: اگر وضعیت نوسانی برای چشمه‌ی موج واقع در مکان  $x = 0$  با رابطه‌ی  $u = A \sin(\omega t + \varphi_0)$  بیان شود ( $\varphi_0$  فاز اولیه‌ی چشمه‌ی موج است که در کتاب درسی، صفر در نظر گرفته می‌شود)، تابع موج برای نقطه‌ای از محیط که به فاصله‌ی  $x$  از چشمه‌ی موج واقع است، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$u = A \sin(\omega t - k|x|) \quad \begin{array}{l} x > 0 \\ |x| = x \end{array}$$

$$u = A \sin(\omega t + k|x|) \quad \begin{array}{l} x < 0 \\ |x| = -x \end{array}$$

در این رابطه  $k|x|$ ، اختلاف فاز بین هر نقطه از محیط که به فاصله‌ی  $x$  از چشمه‌ی موج واقع است، با چشمه‌ی موج است. یا می‌توان گفت،  $k|x|$  فاز اولیه‌ی ذره‌ای است که به فاصله‌ی  $x$  از چشمه‌ی موج واقع است.

تشخیص موج طولی و عرضی از روی تابع موج: اگر در تابع موج، زیرنویس  $u$  (راستای نوسان ذره‌های محیط) با ضریب  $k$  (محور انتشار موج) یکسان باشد، موج طولی است، در غیر این صورت موج عرضی می‌باشد. به عنوان مثال، اگر تابع موجی به صورت  $u_x = A \sin(\omega t - ky)$  باشد، ذره‌های محیط در راستای محور  $x$  نوسان می‌کنند و موج در جهت مثبت محور  $y$  منتشر می‌شود، بنابراین موج عرضی است. بدیهی است تابع موج یک موج طولی می‌تواند به صورت  $u_x = A \sin(\omega t - kx)$  باشد.

فاز موج: در رابطه‌ی تابع موج به عبارت‌های  $\varphi = \omega t - kx$  و  $\varphi = \omega t + kx$  فاز موج گفته می‌شود.

چون شکل موج در هنگام انتشار، تغییر نمی‌کند، فاز آن هم با گذشت زمان و انتشار موج، ثابت می‌ماند.

چون برای یک نقطه، مکان  $x$  ثابت است، بنا به رابطه‌ی  $\varphi = \omega t - kx$  با گذشت زمان  $t$ ، فاز حرکت آن نقطه نیز تغییر می‌کند. مسافتی که موج در مدت  $\Delta t$  می‌پیماید از رابطه‌ی  $\Delta x = v\Delta t$  محاسبه می‌شود که در آن  $v$  سرعت انتشار موج است.

## تعیین معادله‌ی حرکت و سرعت یک ذره از محیط انتشار موج و محاسبه‌ی کمیت‌های آن

معادله‌ی حرکت نوسانگر: برای تعیین معادله‌ی نوسانی ذره‌ای که به فاصله‌ی  $x$  از چشمه‌ی موج قرار دارد، در رابطه‌ی  $u = A \sin(\omega t - kx)$  به جای کمیت‌های  $A$ ،  $\omega$ ،  $k$  و  $x$  مقدار آن‌ها را قرار می‌دهیم و معادله‌ی نوسانی ذره‌ی مورد نظر را به دست می‌آوریم و سپس کمیت‌های مکان، سرعت، شتاب آن ذره را (همانگونه که در فصل نوسان فراگرفتیم) در لحظه‌ی  $t$ ، با قرار دادن مقدار  $t$  در معادله‌ی مورد نظر حساب می‌کنیم. دقت کنید، اگر موج در خلاف جهت محور  $x$  منتشر شود، تابع موج نسبت به مبدأ موج به صورت  $u = A \sin(\omega t + kx)$  است، زیرا جهت بردار سرعت منفی است. در این حالت مقادیر  $x$  را با علامت منفی قرار می‌دهیم. مثلاً برای نقطه‌ای در فاصله‌ی  $5\text{m}$  متری چشمه‌ی موج،  $x = -5\text{m}$  را قرار می‌دهیم. در ضمن همه‌ی ذره‌های محیط نسبت به چشمه‌ی موج تأخیر فاز دارد.

تغییر فاز یک نقطه از محیط در مدت زمان  $\Delta t$ 

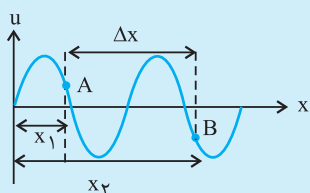
تغییر فاز نوسانگر: برای محاسبه‌ی تغییر فاز یک نقطه از محیط (نوسانگر) در مدت  $\Delta t$  و یا محاسبه‌ی اختلاف فاز بین دو نقطه از محیط که موج فاصله‌ی بین آن دو نقطه را در مدت  $\Delta t$  طی می‌کند، از رابطه‌ی مقابل استفاده می‌کنیم.

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t$$

اختلاف فاز بین دو نقطه به فاصله‌ی  $\Delta x$  از یکدیگر

۱. برای محاسبه‌ی کمترین اختلاف فاز بین دو نقطه از محیط که در فاصله‌ی  $\Delta x$  از هم و در یک جهت انتشار موج قرار دارند، از رابطه‌های زیر استفاده می‌کنیم:

$$\Delta\varphi = k\Delta x, \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x, \quad \Delta\varphi = \frac{\omega}{v}\Delta x$$



۲. اگر بین دو نقطه‌ی  $A$  و  $B$  تعداد  $n$  نقطه‌ی هم‌فاز با نقطه‌ی  $A$  و  $B$  وجود داشته باشد، برای تعیین فاصله‌ی  $\Delta x$  بین دو نقطه‌ی  $A$  و  $B$  از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$k\Delta x = 2n\pi + \Delta\varphi$$

برای کمترین فاصله  $n = 0$  است.

## کنکورهای سراسری داخل و خارج کشور

## عدد موج

- ۵۲۵- یک موج عرضی در یک بعد منتشر می‌شود. اگر فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی موج ۵ سانتی‌متر باشد، عدد موج چند رادیان بر متر است؟  
(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۹) تیپ ۲۱۲
- ۵۲۶- نسبت بسامد زاویه‌ای به سرعت انتشار موج برابر با کدام است؟  
(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۸)
- ۵۲۷- منبع موجی در هر ثانیه ۲۰ نوسان کامل انجام می‌دهد و امواج حاصل با سرعت ثابت در یک محیط منتشر می‌شوند. اگر عدد موج برابر  $40\pi$  رادیان بر متر باشد، سرعت انتشار موج چند متر بر ثانیه است؟  
(سراسری تجربی - ۸۴)

(۱) ۵ (۲) ۱۰ (۳)  $20\pi$  (۴)  $40\pi$

(۱) سرعت (۲) بسامد (۳) عدد موج (۴) طول موج

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۱۰ (۴) ۲۰

## تعیین دوره، طول موج و سرعت انتشار موج از روی تابع موج

- ۵۲۸- تابع موجی به صورت  $u_x = A \sin(\omega t - ky)$  است، این موج ... است و در جهت محور ... در حال انتشار است.  
(سراسری ریاضی - ۸۸)
- ۵۲۹- نوسانگری روی محور  $y$  با دامنه‌ی ۴ cm ارتعاش می‌کند و موج عرضی که ایجاد می‌کند، با سرعت  $25 \frac{m}{s}$  در جهت محور  $x$  منتشر می‌شود. اگر عدد موج  $\frac{rad}{cm}$  باشد، تابع موج در SI کدام است؟  
(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۲) تیپ ۲۱۴
- ۵۳۰- تابع موجی در SI به صورت  $u_y = 10^{-3} \sin(200t - 10\pi x)$  است. سرعت انتشار این موج چند متر بر ثانیه است؟  
(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۲)
- ۵۳۱- تابع موجی که در یک بعد منتشر می‌شود، در SI به صورت  $u = 0.1 \sin(500t - 25x)$  است. عدد موج و سرعت انتشار موج در SI به ترتیب از راست به چپ کدامند؟  
(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۳)
- ۵۳۲- معادله‌ی موجی در SI به صورت  $u_y = 0.2 \sin(500t - 50\pi x)$  است. این موج ... است و با سرعت ... متر بر ثانیه منتشر می‌شود.  
(سراسری تجربی - ۸۵) تیپ ۲۱۵
- ۵۳۳- موجی به معادله‌ی  $u = 0.3 \sin(10\pi t - 2\pi x)$  (در SI) در یک بعد منتشر می‌شود. اگر فاصله‌ی دو نقطه در راستای انتشار موج ..... متر باشد، آن دو نقطه با یکدیگر در فاز مخالفاند.  
(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۶)
- ۵۳۴- تابع موجی در SI به صورت  $u = 10^{-2} \sin(100\pi t - 40\pi x)$  است. مسافتی که این موج در مدت ۲ s می‌پیماید، چند متر است؟  
(سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۷)
- ۵۳۵- تابع موجی در SI به صورت  $u_y = 0.1 \sin(10\pi t - 40\pi x)$  است. این موج در مدت چند ثانیه در مسیر مستقیم به اندازه‌ی  $12/5$  سانتی‌متر منتقل می‌شود؟  
(سراسری تجربی - ۸۹)
- ۵۳۶- تابع موجی در SI به صورت  $u_y = 0.2 \sin \pi(0.4x + 12t)$  است. کدام گزینه‌ی زیر صحیح است؟  
(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۰)

(۱) ۲۰ (۲) ۵۰ (۳)  $\frac{50}{\pi}$  (۴)  $\frac{20}{\pi}$

(۱)  $25$  و  $\frac{\pi}{4}$  (۲)  $12/5$  و  $\frac{\pi}{4}$  (۳)  $25$  و  $20$  (۴)  $12/5$  و  $20$

(۱) عرضی،  $\frac{\pi}{10}$  (۲) طولی،  $\frac{\pi}{10}$  (۳) عرضی،  $\frac{10}{\pi}$  (۴) طولی،  $\frac{10}{\pi}$

(۱) ۱ (۲)  $1/5$  (۳) ۳ (۴) هر سه

(۱) ۲ (۲)  $2/5$  (۳) ۴ (۴) ۵

(۱)  $0/5$  (۲) ۱ (۳)  $1/5$  (۴) ۲

(۱) بسامد زاویه‌ای  $6 \frac{rad}{s}$  است. (۲) طول موج  $5\pi$  متر است.

(۳) موج در جهت محور  $x$  منتشر می‌شود. (۴) بزرگی سرعت انتشار موج در محیط  $30 \frac{m}{s}$  است.



۵۳۷- سیمی بین دو نقطه با نیروی ۲۰ نیوتون کشیده شده است و یک موج عرضی به معادله‌ی  $u_y = 5 \times 10^{-3} \sin(500\pi t - 5\pi x)$  در آن منتشر می‌شود. هر سانتی‌متر این سیم، چند گرم جرم دارد؟

(سراسری تجربی - ۹۱)

- (۱) ۰/۲ (۲) ۰/۴ (۳) ۰/۰۲ (۴) ۰/۰۴

۵۳۸- تابع موج منتشر شده در یک تار، در SI به صورت  $u_y = 0.02 \sin(2\pi x + 100\pi t)$  است. اگر نیروی کشش تار ۲۰ نیوتون باشد، جرم هر متر از تار چند گرم است؟

(سراسری ریاضی - ۹۰)

- (۱) ۴ (۲) ۸ (۳) ۱۶ (۴) ۳۲

### بررسی معادله‌ی حرکت و سرعت یک ذره از محیط انتشار موج

۵۳۹- چشمه‌ی موجی با معادله‌ی  $x = A \sin \omega t$  نوسان می‌کند و موج حاصل در یک بعد منتشر می‌شود. اگر طول موج برابر ۲ متر باشد، معادله‌ی نوسانی نقطه‌ای که در فاصله‌ی ۴۰ سانتی‌متری چشمه قرار دارد، به صورت  $x = A \sin(\omega t - \theta)$  است.  $\theta$  چند رادیان است؟

(سراسری تجربی - ۸۷)

- (۱)  $\frac{\pi}{4}$  (۲)  $\frac{\pi}{6}$  (۳)  $\frac{2\pi}{5}$  (۴)  $\frac{4\pi}{9}$

۵۴۰- معادله‌ی چشمه‌ی موجی در SI به صورت  $y = 0.01 \sin(100\pi t)$  است. موج حاصل با سرعت  $20 \frac{m}{s}$  در یک راستا منتشر می‌شود. نقطه‌ی M در جهت انتشار موج و در فاصله‌ی ۲۵ سانتی‌متری از چشمه‌ی موج قرار دارد. معادله‌ی نوسان نقطه‌ی M در SI کدام است؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۳)

$$y_M = 0.01 \sin(100\pi t - \frac{5\pi}{4}) \quad (1)$$

$$y_M = 0.01 \sin(50\pi t - \frac{5\pi}{4}) \quad (3)$$

$$y_M = 0.01 \sin(50\pi t - \frac{3\pi}{4}) \quad (4)$$

$$y_M = 0.01 \sin(100\pi t - \frac{3\pi}{4}) \quad (2)$$

۵۴۱- منبع تولید موج با معادله‌ی  $y = 0.04 \sin 10\pi t$  (در SI) نوسان می‌کند و موج حاصل با سرعت  $2 \frac{m}{s}$  در محیط منتشر می‌شود. نقطه‌ای از محیط که در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از منبع قرار دارد، در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{30} s$  در چند سانتی‌متری از وضع تعادل خود قرار دارد؟

(سراسری ریاضی - ۸۵)

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

۵۴۲- تابع موج عرضی که در یک بعد منتشر می‌شود، در SI به صورت  $u_y = 0.02 \sin(10\pi t - 4\pi x)$  است. سرعت ذره‌ای از محیط انتشار که در مکان  $x = 50 \text{ cm}$  قرار دارد، در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{30} s$  چند سانتی‌متر بر ثانیه است؟

(سراسری ریاضی - ۸۹)

- (۱)  $0.1\pi$  (۲)  $10\pi$  (۳)  $0.1\sqrt{3}\pi$  (۴)  $10\sqrt{3}\pi$

۵۴۳- موجی در یک محیط در حال انتشار است و معادله‌ی مکان نقطه‌ی A به صورت  $y_A = 5 \sin\left(4\pi t - \frac{\pi}{6}\right)$  است، که در آن y بر حسب سانتی‌متر و t بر حسب ثانیه است. اگر در یک لحظه‌ی معین مکان نقطه‌ی A برابر  $+3 \text{ cm}$  باشد، اندازه‌ی مکان همان نقطه  $0.125$  ثانیه‌ی بعد، چند سانتی‌متر می‌شود؟

(سراسری ریاضی ۸۶ - مشابه سراسری تجربی ۷۲)

- (۱) ۴ (۲) ۵ (۳)  $3\sqrt{2}$  (۴)  $4\sqrt{2}$

### اختلاف فاز بر حسب زمان و مکان

۵۴۴- اگر اختلاف فاز یک نقطه از محیط انتشار موج با چشمه‌ی موج  $\frac{7\pi}{12}$  رادیان باشد، حداقل فاصله‌ی آن نقطه تا چشمه، چند برابر طول موج است؟

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۲)

- (۱)  $\frac{7}{24}$  (۲)  $\frac{7}{12}$  (۳)  $\frac{9}{12}$  (۴)  $\frac{3}{14}$

۵۴۵- در یک محیط انتشار موج، حداقل فاصله‌ی بین دو نقطه که با هم  $\frac{\pi}{5} \text{ rad}$  اختلاف فاز دارند، برابر با  $4 \text{ cm}$  است. طول موج ارتعاشات چند سانتی‌متر است؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی ۸۵ و سراسری تجربی ۷۲)

- (۱) ۳۰ (۲) ۴۰ (۳) ۵۰ (۴) ۶۰

## بررسی اختلاف فاز بین دو نقطه از محیط

۵۴۶- معادله‌ی یک منبع ارتعاشی در SI به صورت  $y = 0.1 \sin(12\pi t + \frac{\pi}{3})$  است و نقطه‌ای که در فاصله‌ی ۲۵ سانتی‌متری مبدأ قرار دارد با مبدأ  $\frac{\pi}{4}$  رادیان

(سراسری ریاضی ۸۷ و مشابه سراسری تجربی ۷۲)

اختلاف فاز دارد. سرعت انتشار موج حداکثر چند متر بر ثانیه است؟

(۱) ۴ (۲) ۶ (۳) ۱۰ (۴) ۱۲

۵۴۷- معادله‌ی نوسان نقطه‌های A و B از یک محیط انتشار موج در SI به صورت  $u_A = 0.02 \sin 2\pi(10t - 0.6)$  و  $u_B = 0.02 \sin 2\pi(10t - 0.2)$  است.

(سراسری خارج از کشور ریاضی-۸۶)

کم‌ترین فاصله‌ی ممکن این دو نقطه چند برابر طول موج است؟

(۱)  $\frac{1}{5}$  (۲)  $\frac{2}{5}$  (۳)  $\frac{1}{5\pi}$  (۴)  $\frac{2}{5\pi}$

۵۴۸- موجی در یک محیط همگن و در یک بعد منتشر می‌شود و معادله‌ی ارتعاشی دو نقطه از آن در SI به صورت

تیپ ۲۲۰

$u_B = 0.01 \sin(2\pi t - \frac{\pi}{4})$  و  $u_A = 0.01 \sin(2\pi t - \frac{\pi}{3})$  است. کم‌ترین فاصله‌ی زمانی که موج از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B می‌رسد، چند ثانیه است؟

(سراسری خارج از کشور تجربی-۸۵)

(۱)  $\frac{1}{6}$  (۲)  $\frac{1}{12}$  (۳)  $\frac{5}{6}$  (۴)  $\frac{5}{12}$

## آزمون‌های کنون و سایر

۵۴۹- موج عرضی، موجی است که ... منتشر می‌شود و راستای انتشار موج ... نوسان ذره‌های محیط است.

(۱) فقط در جامدها - هم راستای با

(۲) فقط در مایع‌ها و گازها - عمود بر راستای

(۳) در جامدها و سطح برخی مایع‌ها - عمود بر راستای

(۴) فقط در سطح مایع‌ها - عمود بر راستای

(آزمون کنون-۹۱)

۵۵۰- تابع موجی در SI به صورت  $u_y = 0.03 \sin(30t - 5x)$  می‌باشد. سرعت انتشار این موج در محیط چند برابر سرعت ارتعاش ذره‌ی واقع در مکان  $x = 0$

در لحظه‌ی  $t = \frac{\pi}{15}$  s است؟

(۱)  $\frac{20}{3}$  (۲)  $\frac{10}{3}$  (۳)  $\frac{5}{3}$  (۴)  $\frac{5}{27}$

۵۵۱- یک چشمه موج با بسامد ۱۰۰ هرتز، نوسان‌هایی با دامنه‌ی ۵ میلی‌متر ایجاد می‌کند که با سرعت  $20 \frac{m}{s}$  در امتداد محور X منتشر می‌شوند. تابع موج آن

در SI کدام است؟ (فیزیک پیش ریاضی و تجربی- فصل ۴- مثال ۴-۳ و تمرین ۱۰) (آزاد ریاضی صبح- ۹۰)

(۱)  $u = 5 \times 10^{-3} \sin 10\pi(20t - x)$

(۲)  $u = 5 \times 10^{-2} \sin 10\pi(20t - x)$

(۳)  $u = 5 \times 10^{-2} \sin 10\pi(2t - x)$

(۴)  $u = 5 \times 10^{-3} \sin 10\pi(2t - x)$

(آزاد ریاضی-۹۱)

۵۵۲- معادله‌ی نوسانی منبع ارتعاشی O در SI به صورت  $u_O = 0.03 \sin 100\pi t$  می‌باشد. اگر طول موج در محیط ۱۰ سانتی‌متر باشد، معادله‌ی نوسانی نقطه‌ی M که فاصله‌ی آن از نقطه‌ی O، ۲۰ سانتی‌متر است، کدام می‌باشد؟

(۱)  $u = 0.03 \sin 4\pi(25t - 1)$

(۲)  $u = 0.03 \sin 4\pi(25t - \frac{1}{4})$

(۳)  $u = 0.03 \sin 4\pi(25t - 2)$

(۴)  $u = 0.03 \sin 4\pi(25t - 3)$

(آزمایشی سنجش- ۸۵)

۵۵۳- تابع موجی در SI به صورت  $u_y = 0.05 \sin \pi(t - x)$  می‌باشد. اندازه‌ی شتاب متوسط نقطه‌ای واقع در مکان  $x = 0.5m$ ، در ثانیه‌ی اول حرکت چند

تیپ ۲۲۱

$\frac{m}{s^2}$  است؟

(۱) صفر (۲)  $0.1\pi$  (۳)  $0.2\pi$  (۴)  $-0.2\pi$

۵۵۴- یک موج عرضی که تابع آن در SI به صورت  $u_y = 0.02 \sin(100\pi t - 2\pi x)$  می‌باشد، در یک محیط همگن منتشر می‌شود. شتاب یک ذره از محیط

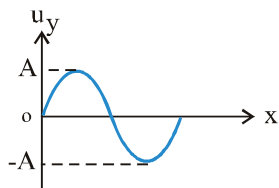
(آزمون کنون- ۸۹)

انتشار این موج که در فاصله‌ی ۵ متری از منبع موج قرار دارد، در لحظه‌ی  $t = 0.02s$  چند متر بر مجذور ثانیه است؟

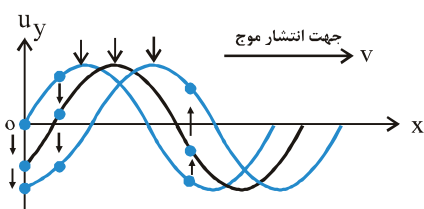
(۱)  $2\pi$  (۲)  $\pi$  (۳) صفر (۴)  $4\pi$

## نقش موج

## نقش موج و بررسی نوسان یک ذره یا مقایسه‌ی دو نقطه از محیط به کمک آن



نقش موج: هرگاه از موج در حال انتشار، در یک لحظه عکس بگیریم، شکل حاصل از موج که در آن لحظه ثبت می‌شود را نقش موج در آن لحظه می‌نامیم.



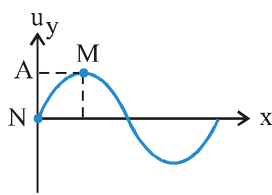
اگر موجی که در جهت محور X منتشر می‌شود را در نظر بگیریم، می‌توان نقش موج را در لحظه‌های مختلف برای آن به صورت زیر نمایش داد.

همان‌طوری که می‌بینیم، جابه‌جایی ذره‌ای مانند O (که در این جا به عنوان چشمه‌ی تولید موج در نظر گرفته شده است) نسبت به مرکز نوسان در لحظه‌های مختلف، متفاوت است. اگر تغییر فاز هر ذره از محیط در مدت  $\Delta t$  به صورت  $\Delta\phi = \omega\Delta t$  محاسبه شود، در این مدت موج به اندازه‌ی  $\Delta x$  جابه‌جا می‌شود که اختلاف فاز بین دو ذره در فاصله‌ی  $\Delta x$  از هم نیز به صورت  $\Delta\phi = k\Delta x$  محاسبه می‌شود، در نتیجه می‌توان نوشت:  $\omega\Delta t = k\Delta x$  به عبارت دیگر، در مدت یک دوره که هر ذره از محیط انتشار موج به اندازه‌ی  $2\pi \text{ rad}$  تغییر فاز می‌دهد، موج به اندازه‌ی یک طول موج پیشروی می‌کند. یعنی می‌توان هم‌ارزی زیر را بین تغییر فاز، مدت زمان تغییر فاز و جابه‌جایی موج بیان کرد.

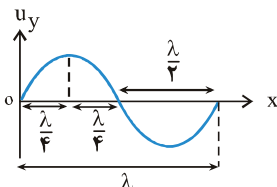
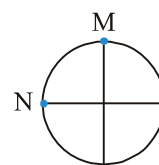
$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\pi$	$2\pi$	$\Delta\phi$
$\frac{T}{12}$	$\frac{T}{8}$	$\frac{T}{6}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	T	$\Delta t$
$\frac{\lambda}{12}$	$\frac{\lambda}{8}$	$\frac{\lambda}{6}$	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{2}$	$\lambda$	$\Delta x$

$$\pi \equiv \frac{T}{2} \equiv \frac{\lambda}{2}$$

با توجه به مقدمه‌ی ذکر شده، می‌توان روش محاسبه‌ی فاصله‌ی بین هر نقطه‌ی دلخواه از محیط انتشار موج تا چشمه‌ی موج را (در امتداد انتشار موج) به صورت زیر بیان کرد در این جا فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی M و N در شکل زیر را، به عنوان مثال به دست می‌آوریم. اگر دایره‌ی مرجع نوسانگر M و N را جداگانه، در نظر بگیریم، با توجه به این که شعاع هر دو دایره (دامنه‌ی نوسان) یکسان است، با انطباق دو دایره بر روی هم می‌بینیم اختلاف فاز بین دو نقطه‌ی M و N برابر  $\frac{\pi}{4}$  رادیان است.



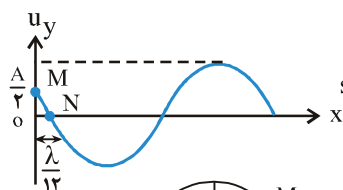
$$\Delta\phi = k\Delta x \xrightarrow[k = \frac{2\pi}{\lambda}]{\Delta\phi = \frac{\pi}{4} \text{ rad}} \frac{\pi}{4} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{\lambda}{4}$$



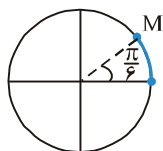
در مثال فوق نشان دادیم فاصله‌ی افقی بین دو نقطه‌ی M و N برابر با  $\frac{\lambda}{4}$  است. بنابراین می‌توان از روی شکل

به صورت زیر،  $\frac{\lambda}{4}$ ،  $\frac{\lambda}{2}$  و  $\lambda$  را تشخیص داد.

برای سایر مقادیرهای  $\lambda$  داریم:

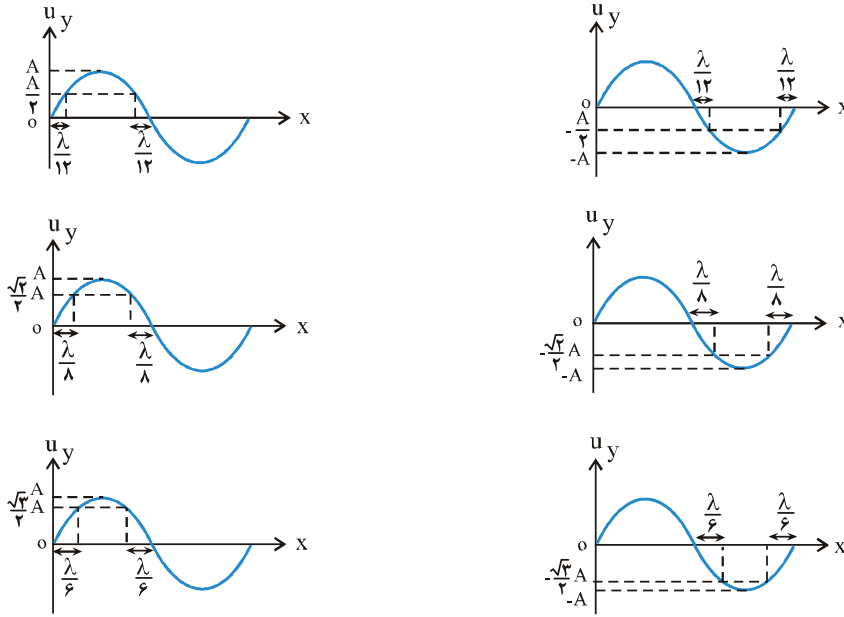


$$\sin \phi_M = \frac{u_M}{A} \Rightarrow \sin \phi_M = \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Rightarrow \phi_M = \frac{\pi}{6}$$



$$\Delta\phi = k\Delta x \xrightarrow[k = \frac{2\pi}{\lambda}]{\Delta\phi = \frac{\pi}{6} \text{ rad}} \frac{\pi}{6} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{\lambda}{12}$$

و این مطلب را می‌توان به صورت زیر تعمیم داد.



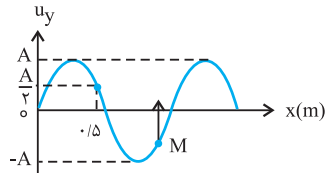
مطالب ذکر شده در بالا که به‌عنوان مثال آمده است، صرفاً جهت آشنایی با حالت‌های مختلف نقش موج بیان شده است، به هیچ وجه نیاز به حفظ کردن این حالت‌ها نیست، اما می‌توان به کمک یادگیری آن‌ها، سؤال‌های مربوط به نقش موج را که در آن‌ها برای تعیین کمیت‌های مختلف، نیاز به تعیین طول موج داریم، به آسانی حل کرد.

کنکورهای سراسری داخل و خارج کشور

محاسبه‌ی سرعت انتشار و طول موج به کمک نقش موج

شکل روبه‌رو نقش موجی را در یک لحظه نمایش می‌دهد. اگر در این لحظه نقطه‌ی M از محیط، در حال بالا رفتن باشد، موج در ..... محور X منتشر می‌شود و طول موج آن ..... متر است.

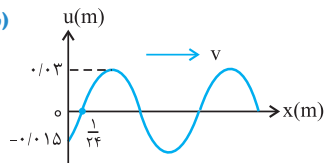
(سراسری تجربی - ۸۹)



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

نقش موجی در لحظه‌ی  $t = 0$  در یک طناب همگن مطابق شکل زیر است. اگر بسامد موج  $10 \text{ Hz}$  باشد، سرعت انتشار موج چند متر بر ثانیه است؟

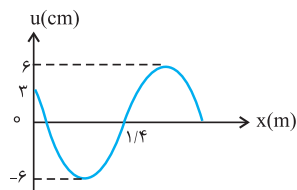
(سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۷)



- (۱)  $2/5$
- (۲)  $5$
- (۳)  $7/5$
- (۴)  $10$

شکل روبه‌رو، موج عرضی را در یک لحظه نشان می‌دهد، که در جهت محور X منتشر می‌شود. اگر بسامد این موج  $5$  هرتز باشد، سرعت انتشار آن چند متر بر ثانیه است؟

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۱)



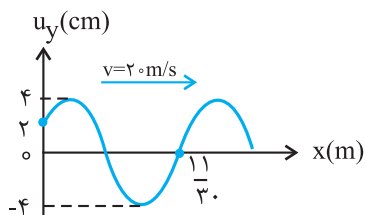
- (۱)  $7$
- (۲)  $12$
- (۳)  $24$
- (۴)  $28$

۵۵۸-

تیپ ۲۲۳

شکل مقابل نقش موج عرضی را در یک طناب در لحظه  $t = 0$  نشان می‌دهد که در جهت محور  $x$  در حال انتشار است. تابع موج در SI کدام است؟

(سراسری تجربی - ۸۸)



$$u_y = 0.04 \sin\left(5.0\pi t + \frac{\pi}{6} - \frac{5}{2}\pi x\right) \quad (1)$$

$$u_y = 0.04 \sin\left(10.0\pi t + \frac{5\pi}{6} - 5\pi x\right) \quad (2)$$

$$u_y = 0.04 \sin\left(10.0\pi t + \frac{\pi}{6} - 5\pi x\right) \quad (3)$$

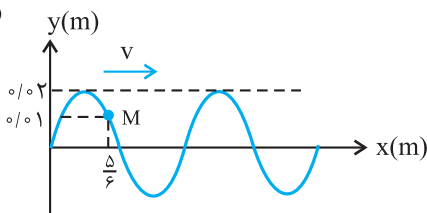
$$u_y = 0.04 \sin\left(5.0\pi t + \frac{5\pi}{6} - \frac{5}{2}\pi x\right) \quad (4)$$

نقش یک موج عرضی که با سرعت  $10 \frac{m}{s}$  در جهت محور  $x$  در یک طناب منتشر می‌شود، در یک لحظه مطابق شکل است. ذره  $M$  در هر ثانیه چند نوسان انجام می‌دهد؟

۵۵۹-

تیپ ۲۲۴

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۷)



(۱) ۲

(۲) ۳

(۳) ۵

(۴) ۶

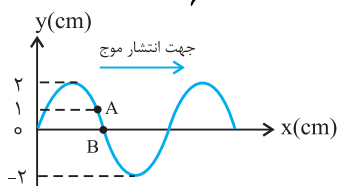
بررسی نوسان دو ذره از محیط به کمک نقش موج

(سراسری تجربی - ۸۶)

نقش موجی در لحظه  $t = 0$  مطابق شکل است. اختلاف فاز بین دو نقطه  $A$  و  $B$  در لحظه  $t = \frac{T}{6}$  چند رادیان است؟

۵۶۰-

تیپ ۲۲۵



( $T$  دوره‌ی موج است.)

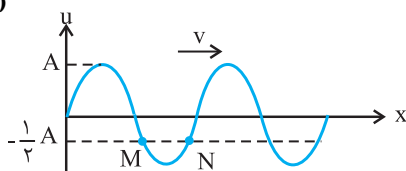
$$\frac{\pi}{3} \quad (1)$$

$$\frac{2\pi}{3} \quad (3)$$

شکل روبه‌رو، نقش یک موج عرضی را در یک لحظه نشان می‌دهد. اختلاف فاز دو نقطه  $M$  و  $N$  چند رادیان است؟

۵۶۱-

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۲)



$$\frac{\pi}{6} \quad (2)$$

$$\frac{4\pi}{3} \quad (4)$$

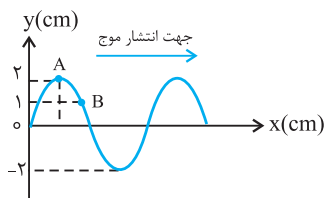
$$\frac{\pi}{3} \quad (1)$$

$$\frac{2\pi}{3} \quad (3)$$

(سراسری ریاضی - ۸۶)

شکل مقابل، انتشار موج را در یک طناب نشان می‌دهد. اختلاف فاز دو نقطه  $A$  و  $B$  چند رادیان است؟

۵۶۲-



$$\frac{\pi}{3} \quad (2)$$

$$\frac{\pi}{6} \quad (4)$$

$$\frac{\pi}{2} \quad (1)$$

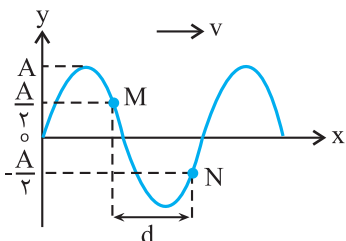
$$\frac{\pi}{4} \quad (3)$$

در شکل روبه‌رو، موجی در طناب با سرعت  $20 \frac{m}{s}$  در حال انتشار است. اگر ذره  $M$  در هر ثانیه ۱۰ نوسان کامل انجام دهد، چند ثانیه طول می‌کشد تا موج روی محور  $x$ ، مسافت  $d$  را طی کند؟

۵۶۳-

تیپ ۲۲۶

(سراسری تجربی - ۹۲)



$$\frac{1}{20} \quad (2)$$

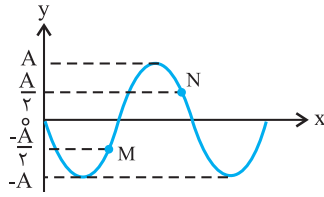
$$\frac{7}{60} \quad (4)$$

$$\frac{1}{10} \quad (1)$$

$$\frac{5}{60} \quad (3)$$

۵۶۴- شکل روبه‌رو نقش موجی را در یک لحظه نشان می‌دهد که در جهت محور X منتشر می‌شود. اختلاف فاز بین دو نقطه‌ی M و N چند رادیان است؟

(سراسری خارج از کشور تجربی-۸۹)



(۱)  $\pi$

(۲)  $\frac{\pi}{3}$

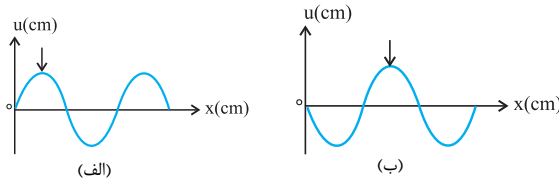
(۳)  $2\pi$

(۴)  $\frac{2\pi}{3}$

۵۶۵- شکل‌های الف و ب نقش یک موج را در دو لحظه‌ی  $t_1$  و  $t_2$  نشان می‌دهند که در جهت مثبت محور X منتشر می‌شود. اگر بسامد نوسان‌ها  $50\text{ Hz}$  باشد،  $\Delta t = t_2 - t_1$  چند ثانیه است؟ (علامت پیکان، یک قله‌ی موج را در این دو لحظه نشان می‌دهد.)

تیپ ۲۲۷

(فیزیک پیش ریاضی و تجربی- فصل ۴- تمرین ۴-۵) (سراسری خارج از کشور تجربی-۸۸)



(۱) ۱

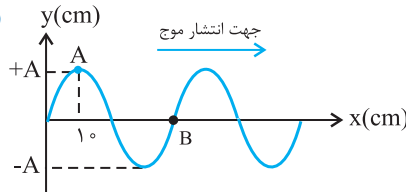
(۲) ۲

(۳)  $10^{-2}$

(۴)  $2 \times 10^{-2}$

۵۶۶- شکل مقابل نقش موجی را در یک طناب در لحظه‌ی  $t = 0$  نشان می‌دهد. پس از چند ثانیه ذره‌ی B برای اولین بار در موقعیت ذره‌ی A قرار می‌گیرد؟

(سراسری خارج از کشور تجربی-۸۶) (سرعت انتشار موج  $10 \frac{m}{s}$  است.)



(۱)  $\frac{1}{25}$

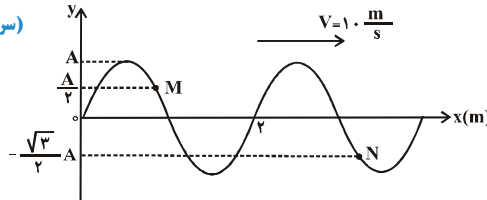
(۲)  $\frac{1}{50}$

(۳)  $\frac{1}{100}$

(۴)  $\frac{3}{100}$

۵۶۷- نقش یک موج عرضی در طنابی در لحظه‌ی  $t = 0$  مطابق شکل زیر است. در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{30} s$  مکان ذرات M و N به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی-۹۳)



(۱) صفر،  $\frac{A}{2}$

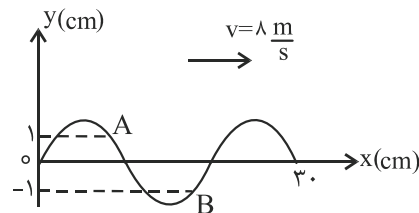
(۲) صفر، صفر

(۳)  $\frac{A}{2}$ ،  $+A$

(۴) صفر،  $+A$

۵۶۸- شکل روبه‌رو، نقش موجی را در لحظه‌ی  $t = 0$  نشان می‌دهد. در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{300} s$ ،  $t$ ، بزرگی شتاب ذره‌ی A چند برابر بزرگی شتاب ذره‌ی B است؟

(سراسری ریاضی-۹۳)



(۱) ۱

(۲)  $\frac{1}{2}$

(۳)  $\frac{\sqrt{3}}{2}$

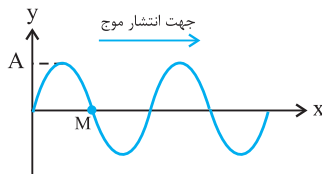
(۴)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$

بررسی نوسان یک ذره از محیط به کمک نقش موج

۵۶۹- نقش موجی در یک طناب در لحظه‌ی  $t = 0$  مطابق شکل است. در بازه‌ی زمانی صفر تا  $\frac{3T}{4}$ ، جابه‌جایی ذره‌ی M و مسافتی که موج در این مدت طی می‌کند، به ترتیب کدام است؟

تیپ ۲۲۸

(سراسری خارج از کشور ریاضی-۸۵)



(۱)  $\frac{3\lambda}{2}$ ، A

(۲)  $\frac{3\lambda}{2}$ ، -A

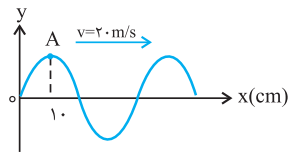
(۳)  $\frac{3\lambda}{4}$ ، A

(۴)  $\frac{3\lambda}{4}$ ، -A

۵۷۰- نقش یک موج عرضی در لحظه‌ی  $t = 0$  مطابق شکل است. در بازه‌ی زمانی صفر تا  $\frac{1}{80}$  ثانیه، بردار شتاب ذره‌ی A چند بار تغییر جهت می‌دهد؟

تیپ ۲۲۰

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۰)

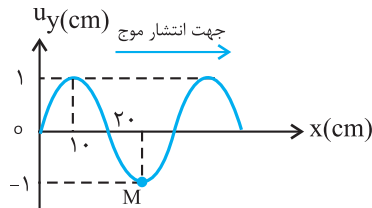


- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- ۳ (۳)
- ۴ (۴)

۵۷۱- شکل موجی در لحظه‌ی  $t = 0$  مطابق شکل است. موج با سرعت  $\frac{4}{5} \text{ m/s}$  در حال انتشار در سوی محور X است. سرعت نقطه‌ی M از این محیط در لحظه‌ی

تیپ ۲۳۰

(سراسری ریاضی - ۸۴)

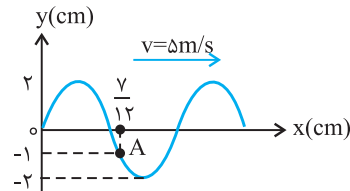


$t = 0.25 \text{ s}$  چند  $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$  است؟

- 1.0π (۱)
- +1.0π (۲)
- 2.0π (۳)
- +2.0π (۴)

۵۷۲- نقش موج عرضی در یک طناب در لحظه‌ی  $t = 0$  مطابق شکل روبه‌رو است. پس از چند ثانیه جهت حرکت ذره‌ی A تغییر می‌کند؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۹)

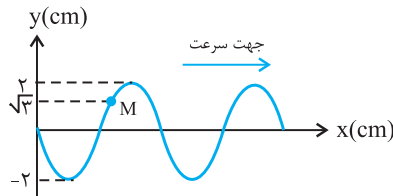


- $\frac{1}{15}$  (۱)
- $\frac{1}{30}$  (۲)
- $\frac{1}{60}$  (۳)
- $\frac{1}{120}$  (۴)

۵۷۳- شکل مقابل نقش موجی به بسامد ۲۰ Hz را در لحظه‌ی  $t = 0$  نشان می‌دهد. بزرگی شتاب متوسط ذره‌ی M در بازه‌ی (صفر تا  $\frac{1}{24}$  ثانیه) چند  $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  است؟

تیپ ۲۳۱

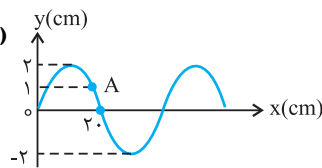
(سراسری ریاضی - ۸۸)



- $24/2\sqrt{3}$  (۱)
- $24/2\pi$  (۲)
- $19/2\sqrt{3}$  (۳)
- $19/2\pi$  (۴)

۵۷۴- شکل مقابل نقش یک موج عرضی را که با سرعت  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  در جهت محور X منتشر می‌شود در لحظه‌ی  $t = 0$  نشان می‌دهد. در بازه‌ی

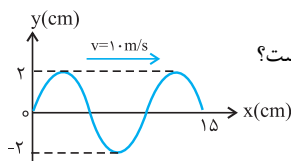
(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۸)



زمانی  $0 \leq t \leq \frac{1}{150}$  جابه‌جایی ذره‌ی A چند سانتی‌متر است؟

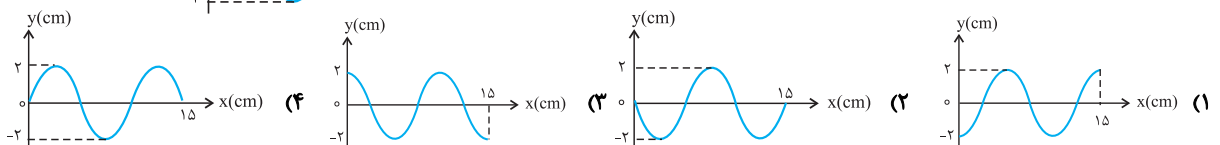
- ۱ (۱)
- ۲ (۲)
- $\sqrt{3}$  (۳)
- $\frac{4-\sqrt{3}}{2}$  (۴)

(سراسری تجربی - ۹۰)



نقش موجی در لحظه‌ی  $t = 0$  مطابق شکل است. نقش موج در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{400} \text{ s}$  کدام است؟

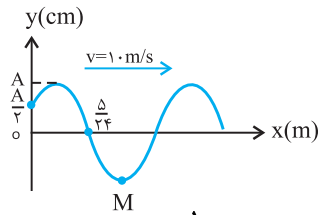
تیپ ۲۳۲



شکل روبه‌رو، نقش موج عرضی طنابی را، در یک لحظه نشان می‌دهد. حرکت ذره‌ی M در بازه‌ی زمانی  $0 \leq t \leq \frac{1}{100}$  s چگونه است؟

تیپ ۲۳۳

(سراسری ریاضی - ۹۰)

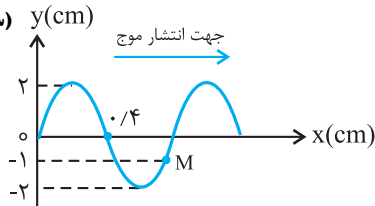


- (۱) کند شونده
- (۲) تندشونده
- (۳) ابتدا تندشونده، سپس کندشونده
- (۴) ابتدا کندشونده، سپس تندشونده

شکل مقابل نقش موجی را در یک طناب در لحظه‌ی  $t = 0$  نشان می‌دهد. در بازه‌ی زمانی صفر تا  $\frac{1}{75}$  ثانیه حرکت ذره‌ی M چگونه است؟ (سرعت انتشار

تیپ ۲۳۳

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۸۶)



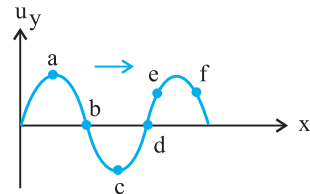
موج در طناب  $10 \frac{m}{s}$  است.)

- (۱) کندشونده است.
- (۲) تندشونده است.
- (۳) ابتدا کندشونده و سپس تندشونده است.
- (۴) ابتدا تندشونده و سپس کندشونده است.

آزمون‌های کنون و سایر

شکل زیر موجی عرضی را نشان می‌دهد که در جهت مثبت محور X در امتداد طناب تحت کششی در حال انتشار است. در این شکل شتاب نقطه‌ی b ..... و نقطه‌ی d با بیشینه‌ی سرعت در جهت ..... نوسان می‌کنند.

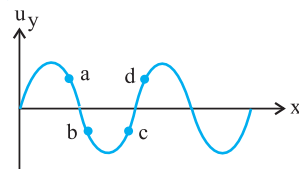
(فیزیک پیش - فصل ۴ - ریاضی تمرین ۴ - تجربی تمرین ۳)



- (۱) صفر - +y
- (۲) صفر - -y
- (۳) بیشینه - +y
- (۴) بیشینه - -y

شکل زیر نقش موجی را در لحظه‌ی t نشان می‌دهد که در جهت مثبت محور X در طول طناب تحت کششی حرکت می‌کند. در این حالت کدام نقطه‌ها به طرف بالا و کدام نقطه‌ها به طرف پایین حرکت می‌کنند؟

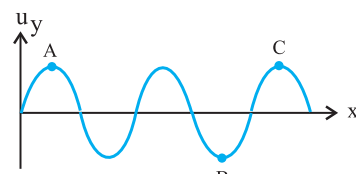
(فیزیک پیش ریاضی - فصل ۴ - تمرین ۳)



- (۱) a و d بالا - b و c پایین
- (۲) a و b بالا - c و d پایین
- (۳) a و c بالا - b و d پایین
- (۴) b و d بالا - a و c پایین

در شکل زیر، نقش یک موج در یک لحظه نشان داده شده است. اختلاف فاز بین نقطه‌ی (B, A) و (C, A) به ترتیب چند رادیان است؟

(فیزیک پیش ریاضی و تجربی - فصل ۴ - تمرین ۳-۴)

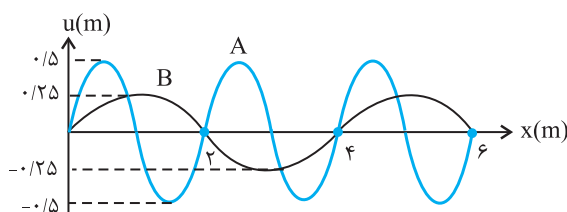


- (۱)  $4\pi, 3\pi$
- (۲)  $\frac{3\pi}{2}, 3\pi$
- (۳)  $4\pi, \frac{3\pi}{2}$
- (۴)  $8\pi, 6\pi$

شکل زیر نمودار نقش دو موج را در لحظه‌ی معینی نشان می‌دهد که با سرعت یکسان  $12 \frac{m}{s}$  به طرف راست در حرکت‌اند. بیشینه‌ی سرعتی که موج B به هر ذره‌ی محیط می‌دهد تا حول وضع تعادلشان به نوسان در آیند، چند برابر بیشینه‌ی سرعتی است که موج A به هر ذره‌ی محیط می‌دهد؟

تیپ ۲۳۴

(فیزیک پیش ریاضی - فصل ۴ - تمرین ۱۱)



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



## انتشار موج در دو و سه بعد

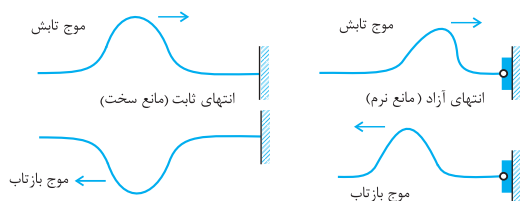
## جبهه‌ی موج

۱. **جبهه‌ی موج:** مکان هندسی نقطه‌هایی از محیط است که در آن نقطه‌ها، تابع موج دارای فاز یکسانی است. (اختلاف فاز نقطه‌های واقع بر یک جبهه‌ی موج همواره برابر صفر است).

## انرژی موج

**انرژی موج:** انرژی موجی با بسامد  $f$  و دامنه‌ی  $A$  در یک طول موج از رابطه‌ی  $E = 2\pi^2 A^2 f \mu v$  محاسبه می‌شود. هم‌چنین متوسط توان انتقال انرژی از هر نقطه‌ی طناب در مدت زمان یک دوره از رابطه‌ی  $\bar{P} = 2\pi^2 A^2 f^2 \mu v$  به دست می‌آید.

## بازتاب موج



۱. **بازتاب موج از انتهای ثابت:** اگر انتهای یک محیط نتواند نوسان کند، آن را مانع سخت می‌گوییم. مثلاً اگر انتهای طنابی به یک دیوار ثابت شده باشد، انتهای طناب را انتهای ثابت و دیوار را مانع سخت می‌گوئیم. موج در برخورد با مانع سخت طوری برمی‌گردد که اختلاف فاز موج تابشی و موج بازتاب آن در محل مانع برابر  $\pi$  (rad) است. یعنی موج برگشتی، قرینه‌ی (وارون) موج رفت می‌باشد.

۲. **بازتاب موج از انتهای آزاد:** اگر انتهای یک محیط بتواند آزادانه نوسان کند، آن را مانع نرم می‌گوییم. مثلاً اگر انتهای یک طناب افقی به یک حلقه متصل باشد و حلقه آزادانه بتواند روی میله‌ی قائمی بالا و پائین برود، انتهای طناب را انتهای آزاد و میله را مانع نرم می‌نامیم. موج در برخورد با مانع نرم در محل مانع بدون اختلاف فاز برمی‌گردد. یعنی موج وارونه نمی‌شود.

## برهم‌نهی موج‌ها و تارهای مرتعش

## برهم‌نهی سازنده و ویرانگر

۱. **اصل برهم‌نهی موج‌ها:** هر موج در حال انتشار، بدون آن‌که برای انتشار سایر موج‌ها مزاحمتی ایجاد کند، از آن‌ها عبور می‌کند و به انتشار خود ادامه می‌دهد. در نقطه‌ای که دو یا چند موج، با هم تلاقی می‌کنند. جابه‌جایی این ذره برابر برآیند جابه‌جایی‌های حاصل از هر یک از موج‌هاست.

$$\vec{u}_T = \vec{u}_1 + \vec{u}_2 + \dots$$

۲. **برهم‌نهی سازنده:** هرگاه دو موجی که در یک راستا در حرکتند در نقطه‌ای با هم تداخل کنند، در صورتی که دو موج در این نقطه هم‌فاز باشند، تداخل آن‌ها سازنده می‌شود. در این حالت دامنه‌ی موج برآیند، برابر مجموع دامنه‌ی دو موج است.

۳. **برهم‌نهی ویرانگر:** هرگاه دو موجی که در یک راستا در حرکتند، در نقطه‌ای با هم تداخل کنند، در صورتی که دو موج در این نقطه در فاز مخالف یکدیگر باشند (اختلاف فاز معادله‌ی آن‌ها مضرب فردی از  $\pi$  باشد)، تداخل آن‌ها ویرانگر می‌شود. در این حالت دامنه‌ی موج برآیند، تفریق دامنه‌ی دو موج می‌شود.

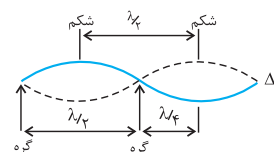
$$A = |A_1 - A_2|$$

تداخل دو موج تابش و بازتاب در محل مانع سخت و ویرانگر و در محل مانع نرم سازنده است. اگر دامنه‌های موج‌های تابش و بازتاب یکسان و برابر باشد، دامنه‌ی برآیند موج‌ها در محل مانع سخت برابر صفر و در محل مانع نرم برابر  $2A$  خواهد بود.

## برهم‌نهی موج‌ها در یک بعد و موج ایستاده

۱. **نحوه‌ی تشکیل موج ایستاده:** از برهم‌نهی دو موج هم‌بسامه و هم‌دامنه که در خلاف جهت و به طرف یکدیگر منتشر می‌شوند، موج ایستاده تشکیل می‌شود. (مثل موج‌های ساکن تشکیل شده در لوله‌های صوتی و تارهای مرتعش)

۲. **گره‌ها و شکم‌ها:** در بعضی از نقاط محیط که موج ایستاده تشکیل شده است، جابه‌جایی دو موج در هر لحظه یکسان اما در خلاف جهت یکدیگرند، در نتیجه برهم‌نهی دو موج ویرانگر و دامنه‌ی این نقاط صفر می‌شود. به این نقاط گره می‌گوییم. به بعضی نقطه‌های دیگر نیز در هر لحظه دو موج به گونه‌ای که به هم می‌رسند که موج برآیند، با بیشینه‌ی دامنه نوسان کند. به این نقطه‌ها شکم یا پادگره می‌گویند.



فاصله‌ی گره‌ها و شکم‌ها: فاصله‌ی دو گره متوالی و یا دو شکم متوالی برابر با  $\frac{\lambda}{2}$  و فاصله‌ی یک گره از شکم مجاورش

برابر  $\frac{\lambda}{4}$  می‌باشد.

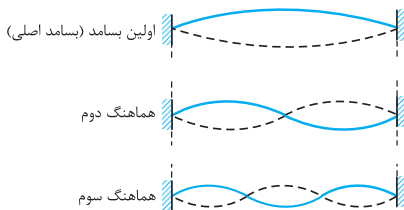
۲. ویژگی‌های موج ایستاده:

الف) تمام نقاط بین دو گره‌ی متوالی هم‌بسامد و هم‌فازند اما دامنه‌ی آن‌ها یکسان نیست و تمام نقاطی که در طرفین یک گره وجود دارند هم‌بسامد و در فاز مخالفند.

ب) موج ایستاده بر خلاف موج رونده انرژی را منتقل نمی‌کند. یعنی انرژی از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر منتقل نمی‌شود. به این دلیل نقاط گره همواره گره باقی می‌مانند. (دقت کنید که همواره تبدیل انرژی پتانسیل به جنبشی و برعکس اتفاق می‌افتد.)

پ) در انتهای ثابت همواره گره و در انتهای آزاد همواره شکم تشکیل می‌شود. (ت) جای گره‌ها و شکم‌ها ثابت است.

### رابطه‌های تارهای مرتعش دوسریسته



تعیین بسامد و طول موج: در تارهای مرتعش دو سر ثابت، در انتهای ثابت گره و وسط دو گره شکم تشکیل می‌شود.

$$L = \frac{\lambda_1}{2} \quad \left| \quad \begin{array}{l} L = \frac{2\lambda_2}{2} \\ L = \frac{3\lambda_3}{2} \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{L = \frac{n\lambda_n}{2}} \xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} L = \frac{nv}{2f_n} \Rightarrow \boxed{f_n = \frac{nv}{2L}} \xrightarrow{v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}} f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$\begin{cases} n = \text{شماره همانگ} = \text{تعداد شکم} \\ n = 1 - \text{تعداد گره} \end{cases}$$

$n$  برابر تعداد شکم‌ها، یا شماره‌ی همانگ می‌باشد. (تعداد گره‌ها یکی بیش‌تر از تعداد شکم‌هاست.)  $n+1 =$  تعداد گره. به ازاء  $n=1$  تار مرتعش

کم‌ترین بسامد خود را تولید می‌کند که به آن بسامد اصلی می‌گوییم در این حالت داریم:

$$f_1 = \frac{v}{2L}, \quad \lambda_1 = 2L$$

**همانگ‌ها:** مضارب صحیحی از بسامدهای اصلی را همانگ‌های آن بسامد می‌گوییم. در تارهای مرتعش دو سر بسته، تار تمامی همانگ‌های فرد و زوج بسامد اصلی را تولید می‌کند.

$f_n = nf_1$  (بسامد اصلی) بسامد همانگ  $n$ ام

اگر  $f'$  و  $f''$  بسامدهای دو همانگ متوالی یک تار دو سر بسته باشد، بسامد اصلی برابر است با:

$$f_1 = |f' - f''|$$

اگر  $f_p$  و  $f_k$  بسامدهای دو همانگ از یک تار مرتعش دوسریسته باشد، بسامد اصلی از رابطه‌ی مقابل محاسبه می‌شود.

$$f_p - f_k = (p - k)f_1$$

در تارهای مرتعش با دو انتهای ثابت، نسبت بسامد دو همانگ متوالی، همانند نسبت دو عدد صحیح متوالی است.

$$\frac{f_n}{f_{n+1}} = \frac{n}{n+1}$$

### برهم‌نهی موج‌ها در دو بعد

**برهم‌نهی سازنده:** دو چشمه‌ی موج هم‌فاز و هم‌بسامد موج‌هایی را در یک محیط مثلاً (سطح آب) منتشر می‌کنند. اگر اختلاف فاصله هر یک از نقاط یک محیط از دو چشمه، مضرب صحیحی از  $\lambda$  داشته باشد، موج‌های رسیده به آن نقاط هم‌فازند، در نتیجه برهم‌نهی موج‌ها در این نقاط، سازنده است بنابراین دامنه ارتعاشی و انرژی این نقاط، بیشینه می‌شود، در این نقاط شکم تشکیل می‌شود.

**برهم‌نهی ویرانگر:** اگر اختلاف فاصله‌ی یک نقطه از دو چشمه‌ی موج، مضرب فردی از  $\frac{\lambda}{2}$  باشد، موج‌های رسیده از دو چشمه به این نقطه در فاز

مخالفاند، در نتیجه برهم‌نهی موج‌ها در این نقطه ویرانگر است. بنابراین دامنه و انرژی ارتعاشی این نقطه، صفر است. در این نقطه گره تشکیل می‌شود.

موج‌های رسیده هم‌فاز می‌شوند و شکم تشکیل می‌دهند.  $d_p - d_1 = n\lambda \Rightarrow$

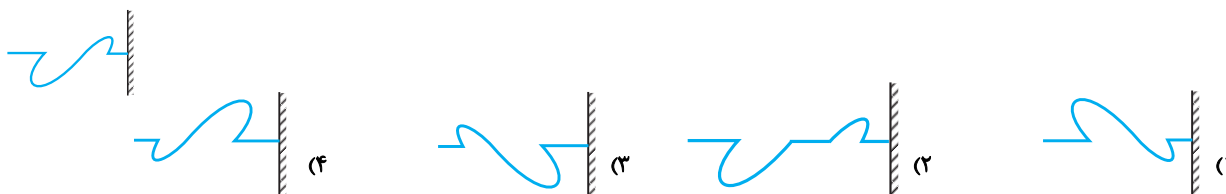
موج‌های رسیده در فاز مخالفاند و گره تشکیل می‌شود  $d_p - d_1 = (2n-1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow$

(دقت کنید که در این‌جا فرض کردیم، با دور شدن از چشمه‌ی موج دامنه‌ی نوسان ذرات تغییر نکند.)

## بازتاب موج و بررسی مفهومی موج ایستاده

-۵۸۲  
تیپ ۲۳۵

موجی مطابق شکل در یک طناب که انتهایش به دیوار بسته شده تولید شده است. کدام گزینه موج برگشتی از دیوار را نشان می‌دهد؟  
(فیزیک پیش ریاضی و تجربی - فصل ۴ - تمرین ۴-۶) (سراسری تجربی - ۶۹)



-۵۸۳ در موج ایستاده‌ای که در یک بُعد تشکیل شده است، نقاط بین دو گره متوالی:

(۱) هم‌فاز و هم بسامدند.

(۲) در لحظه‌ی عبور از نقطه‌ی تعادل، سرعتی برابر دارند.

(۳) بسامد آن‌ها برابر با مجموع بسامد موج‌های تشکیل دهنده‌ی موج ایستاده است.

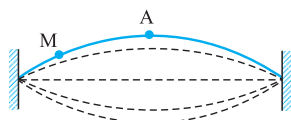
(۴) همه‌ی موارد

(سراسری ریاضی - ۹۱)

-۵۸۴

در یک طناب، موج ایستاده‌ای مطابق شکل تشکیل شده است. کدام جمله‌ی زیر در مورد دو نقطه‌ی A و M درست است؟

(سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۱)



(۱) دامنه‌ی نوسان هر دو نقطه یکسان است

(۲) اختلاف فاز این دو نقطه،  $\frac{\pi}{4}$  رادیان است.

(۳) بسامد نوسان A بیش از بسامد نوسان M است.

(۴) سرعت A در هنگام عبور از وضع تعادل بیش از سرعت M هنگام عبور از وضع تعادل است.

-۵۸۵ دو موج با معادله‌های  $u_1 = 0.04 \sin[2\pi(\Delta x - 5.0t)]$  و  $u_2 = 0.04 \sin[2\pi(\Delta x + 5.0t)]$ ، در SI، روی ریسمانی حرکت می‌کنند. فاصله‌ی بین دو گره‌ی متوالی چند سانتی‌متر است؟

(سراسری ریاضی - ۸۴)

(۱) ۱۰ (۲) ۲۰ (۳)  $\frac{10}{\pi}$  (۴) ۵

-۵۸۶ موجی در یک طناب منتشر می‌شود و پس از بازتاب از انتهای ثابت طناب تشکیل موج ایستاده می‌دهد. اگر عدد موج  $10\pi$  رادیان بر متر باشد، گره‌ها در

(سراسری تجربی - ۸۵)

چند متری از انتهای ثابت تشکیل می‌شوند؟ ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )

(۱)  $1/n$  (۲)  $0.5n$  (۳)  $(n-1)(0.1)$  (۴)  $(2n+1)(0.05)$

## تعیین بسامد تارهای مرتعش

-۵۸۷ یک تار مرتعش به طول ۸۰ cm صوت اصلی خود را تولید و در هر ثانیه ۲۰۰ نوسان می‌کند. سرعت انتشار موج عرضی در تار چند متر بر ثانیه است؟ (دو

(سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۸)

انتهای تار ثابت است.)

(۱) ۱۶۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۳۲۰ (۴) ۳۴۰

-۵۸۸ دو سر طنابی ثابت شده است. وقتی طناب را به ارتعاش درمی‌آوریم، در آن موج ایستاده تشکیل می‌شود. اگر طول طناب ۶۰ cm و در طول آن ۲ شکم

تیپ ۲۳۶

ایجاد شده باشد، بسامد نوسان طناب چند هرتز است؟ (سرعت انتشار موج در طناب  $240 \frac{m}{s}$  است.)

(فیزیک پیش ریاضی و تجربی - فصل ۴ - مثال ۴-۶) (سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۶)

(۱) ۱۰۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۴۰۰ (۴) ۶۰۰

-۵۸۹ تار مرتعشی با بسامد ۴۰۰ Hz ارتعاش می‌کند و در طول آن ۵ گره به وجود می‌آید. اگر طول تار ۴۰ cm باشد، سرعت انتشار موج در تار چند  $\frac{m}{s}$  است؟

(سراسری ریاضی - ۸۵)

(۱) ۴۰ (۲) ۸۰ (۳) ۱۲۰ (۴) ۱۶۰

تاری به طول ۶۰ سانتی‌متر، بین دو نقطه محکم بسته شده است. اگر این تار چنان به ارتعاش درآید که هماهنگ سوم خود را تولید کند، در طول آن چند گره تشکیل می‌شود؟ و فاصله‌ی بین دو گره‌ی متوالی چند سانتی‌متر است؟ (سراسری تجربی - ۹۰)

- (۱) ۱۵ و ۴ (۲) ۲۰ و ۳ (۳) ۴ و ۲۰ (۴) ۳ و ۳۰

تار مرتعشی به طول ۵۰cm و جرم واحد طول  $5 \frac{g}{m}$  بین دو نقطه، محکم بسته شده است. اگر بسامد صوت اصلی آن ۲۰۰Hz باشد، نیروی کشش تار چند نیوتون است؟ (سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۱)

- (۱) ۲۰ (۲) ۴۰ (۳) ۲۰۰ (۴) ۴۰۰

سیم‌ی به طول یک متر و جرم ۱۰ گرم با نیروی ۱۰۰N بین دو نقطه بسته شده است. بسامد هماهنگ سوم این سیم چند هرتز است؟ (سراسری خارج از کشور ریاضی - ۹۳)

- (۱) ۱۵۰ (۲) ۳۰۰ (۳) ۴۵۰ (۴) ۶۰۰

جرم سیم پیانویی به طول ۰/۸ متر برابر ۶ گرم و نیروی کشش آن ۴۳۲ نیوتون است. بسامد هماهنگ اصلی این سیم چند هرتز است؟ (سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۳)

- (۱) ۵۰۰ (۲) ۳۰۰ (۳) ۲۵۰ (۴) ۱۵۰

طول تار مرتعشی یک متر و جرم آن ۱۰ گرم است. اگر تار با نیروی کشش ۱۰۰ نیوتون بین دو نقطه بسته شود، بسامد هماهنگ دوم آن چند هرتز می‌شود؟ (فیزیک پیش - فصل ۴ - ریاضی تمرین ۱۳ - تجربی ۸) (سراسری تجربی - ۸۷)

- (۱) ۳۵ (۲) ۵۰ (۳) ۱۰۰ (۴) ۲۰۰

وقتی در یکی از سیم‌های ویولن که جرم آن ۸۰۰ میلی‌گرم و طول آن ۲۰ سانتی‌متر است، دو گره ایجاد شود، صوتی با بسامد ۹۰۰ هرتز تولید می‌کند. نیروی کشش سیم چند نیوتون است؟ (سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۱)

- (۱) ۳۶۵/۲ (۲) ۱۲۹/۶ (۳) ۴۳۷/۸ (۴) ۵۱۸/۴

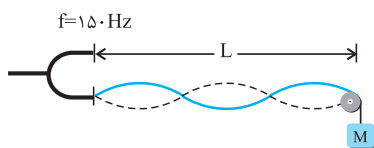
طول یک تار مرتعش دو انتها بسته ۴۰ سانتی متر و بسامد صوت اصلی آن ۱۵۰Hz است. اگر جرم هر سانتی متر تار ۲۰ میلی‌گرم باشد، نیروی کشش تار چند نیوتون است؟ (سراسری ریاضی - ۹۲)

- (۱) ۱۴/۴ (۲) ۲۸/۸ (۳) ۱۴۴ (۴) ۲۸۸

چگالی یک تار مرتعش که از دو طرف بسته شده است، ۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و قطر مقطع آن یک میلی‌متر و طول آن ۴۰ سانتی‌متر است. اگر تار با نیروی ۳۰ نیوتون کشیده شود، بسامد صوت اصلی آن چند هرتز است؟ ( $\pi = 3$ ) (سراسری ریاضی - ۹۳)

- (۱) ۱۲۵ (۲) ۲۵۰ (۳) ۳۷۵ (۴) ۵۰۰

مطابق شکل در یک تار مرتعش موج ایستاده تشکیل شده است. اگر طول تار (L) برابر ۶۰ سانتی‌متر و جرم تار ۲ گرم باشد، جرم وزنه‌ی آویخته شده از انتهای تار چند گرم است؟ ( $g = 10 \frac{m}{s^2}$ ) (سراسری ریاضی - ۹۱)



- (۱) ۳۶۰ (۲) ۶۸۰ (۳) ۱۲۰۰ (۴) ۱۰۰۰

عوامل مؤثر بر بسامد تار مرتعش

تاری بین دو نقطه بسته شده و با بسامد f ارتعاش می‌کند و در طول آن یک شکم تشکیل شده است. اگر نیروی کشش تار را ۴ برابر کنیم و آن را با بسامد ۸f به ارتعاش درآوریم. در این حالت در طول تار چند شکم تشکیل می‌شود؟ (سراسری تجربی - ۹۳)

- (۱) ۲ (۲) ۴ (۳) ۶ (۴) ۸

در سیم یکنواختی که بین دو نقطه‌ی ثابت، با نیروی معینی کشیده شده، موج ایستاده ایجاد می‌کنیم. اگر همان سیم را دولا کنیم و تحت همان نیروی کشش قبلی بین دو نقطه‌ی ثابت دیگر قرار دهیم، بسامد اصلی موج ایستاده حاصل چند برابر خواهد شد؟ (سراسری ریاضی - ۸۴)

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

## برهم‌نهی موج‌ها در دو بعد

۶۰۱- معادله‌ی نوسان دو چشمه‌ی موج  $S_1$  و  $S_2$  در سطح آب برابر  $y_1 = y_2 = 0.004 \sin(40\pi t)$  است. فاصله‌ی نقطه‌ای مانند M روی سطح آب از دو چشمه  $d_1 = 12/5 \text{ cm}$  و  $d_2 = 5 \text{ cm}$  است. اگر سرعت انتشار موج در سطح آب  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  باشد، اختلاف راه دو موجی که با هم به این نقطه می‌رسند، چه قدر است و برهم‌نهی آن‌ها ویرانگر است یا سازنده؟ ( $\lambda$  طول موج است.)

- (فیزیک پیش‌ریاضی-فصل ۴-تمرین ۱۴) (سراسری خارج از کشور ریاضی-۹۰)
- (۱) سازنده  $\lambda$ ، سازنده (۲)  $3\lambda$ ، سازنده (۳)  $\frac{\lambda}{4}$ ، ویرانگر (۴)  $\frac{\lambda}{3}$ ، ویرانگر

## آزمون‌های کنون و سایر

۶۰۲- برهم‌نهی دو موج تابش و بازتاب در محل انتهایی ثابت یک طناب ..... و در محل انتهایی آزاد آن ..... است. هم‌چنین دامنه‌ی موج برآیند در محل انتهایی آزاد ..... دامنه‌ی هر یک از موج‌های تابش و بازتاب است.

(آزمون کانون-۹۱)

- (۱) ویرانگر - سازنده - برابر با (۲) سازنده - ویرانگر - برابر با (۳) ویرانگر - سازنده - دو برابر (۴) سازنده - ویرانگر - دو برابر

۶۰۳- موجی با سرعت  $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  در یک طناب که جرم واحد طول آن  $0.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  است، منتشر می‌شود. اگر دامنه‌ی موج  $5 \text{ cm}$  و بسامد آن  $4 \text{ Hz}$  باشد، انرژی

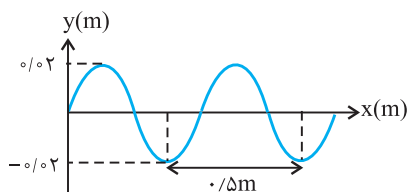
(فیزیک پیش‌ریاضی-فصل ۴-تمرین ۱۵)

- موج در طولی از طناب که برابر یک طول موج است، چند ژول می‌شود؟  $10 = \pi^2$
- (۱)  $0.8$  (۲)  $0.8$  (۳)  $0.16$  (۴)  $1/6$

۶۰۴- مطابق شکل زیر، یک موج عرضی با سرعت  $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  در یک طناب منتشر می‌شود. اگر جرم واحد طول طناب برابر با  $0.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$  باشد، مقدار متوسط توان

تیب ۲۴۱

(آزمون کانون-۹۱)

انتقال انرژی از هر نقطه‌ی این طناب در مدت زمان یک دوره ( $T$ ) چند وات است؟ ( $\pi^2 = 10$ )

- (۱)  $1/2$  (۲)  $0/6$  (۳)  $0/12$  (۴)  $0/06$

۶۰۵- دو سر طنابی ثابت شده است. وقتی طناب را به ارتعاش در می‌آوریم، در آن موج ایستاده تشکیل می‌شود. اگر طول طناب  $80$  سانتی‌متر بوده و در آن پنج

(آزاد ریاضی بعد از ظهر-۹۰)

- گره ایجاد شده باشد، فاصله‌ی اولین گره تا آخرین شکم چند سانتی‌متر است؟
- (۱)  $75$  (۲)  $65$  (۳)  $70$  (۴)  $60$

۶۰۶- هر دو انتهایی طناب همگنی به طول  $1 \text{ m}$  محکم بسته شده است و در طول آن موج‌های ایستاده تشکیل شده است. کدام گزینه نمی‌تواند طول موج ایجاد شده در این طناب بر حسب متر باشد؟

(آزمون کانون-۹۱)

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

۶۰۷- دو سر طنابی ثابت شده است. وقتی طناب را به ارتعاش در می‌آوریم در آن موج ایستاده تشکیل می‌شود. اگر طول طناب  $60$  سانتی‌متر و در آن  $4$  گره ایجاد شده باشد، بسامد نوسان چند هرتز است؟ (سرعت انتشار موج در طناب  $100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  می‌باشد.)

(آزاد تجربی پزشکی صبح-۹۰)

- (۱)  $125$  (۲)  $500$  (۳)  $300$  (۴)  $250$

۶۰۸- بسامد دو هماهنگ متوالی در یک تار که دو سر آن ثابت است به ترتیب برابر با  $300 \text{ Hz}$  و  $450 \text{ Hz}$  می‌باشد. اگر سرعت انتشار موج‌های عرضی در تار برابر با  $375$  متر بر ثانیه باشد، طول موج هماهنگ پنجم تار چند سانتی‌متر است؟

(آزمون کانون-۹۱)

- (۱)  $75$  (۲)  $100$  (۳)  $25$  (۴)  $50$

۶۰۹- طنابی با نیروی کشش  $F$ ، بین دو نقطه ثابت شده است. وقتی این طناب به ارتعاش در می‌آید، در طول آن  $3$  گره تولید می‌شود. اگر نیروی کشش طناب  $4$  برابر شود و همان بسامد را تولید کند، تعداد گره‌ها در این حالت کدام است؟

(آزمون کانون-۹۱)

- (۱)  $1$  (۲)  $2$  (۳)  $3$  (۴)  $4$

## فصل ۴

## موج‌های مکانیکی

پاسخ‌ها از: مصطفی کیانی

۴۹۵- گزینهی «۴»

چون  $F$  و  $L$  و  $m$  معلوم هستند از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F.L}{m}}$  سرعت انتقال

موج‌های عرضی را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{F.L}{m}} \quad F=1.0N, L=1m, m=0.04kg \rightarrow v = \sqrt{\frac{1.0 \times 1}{0.04}}$$

$$\Rightarrow v = 5.0 \frac{m}{s}$$

۴۹۶- گزینهی «۱»

چون  $F$ ،  $L$  و  $m$  معلوم است، با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F.L}{m}}$  سرعت انتشار موج را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{F.L}{m}} \quad m=0.16kg, L=0.8m, F=2.0N \rightarrow v = \sqrt{\frac{2.0 \times 0.8}{0.16}}$$

$$\Rightarrow v = 1.0 \frac{m}{s}$$

۴۹۷- گزینهی «۲»

با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  می‌توان نوشت:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{F_1}{F_2}} \quad F_1=128N \rightarrow \frac{16.0}{20.0} = \sqrt{\frac{128}{F_2}}$$

$$\Rightarrow \frac{128}{F_2} = \frac{16}{25} \Rightarrow F_2 = 200N \Rightarrow \Delta F = 200 - 128 = 72N$$

۴۹۸- گزینهی «۱»

چون  $F$ ،  $\rho$  و  $A$  معلوم است، با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\rho.A}}$  سرعت انتشار موج‌های عرضی در طناب را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho.A}} \quad \rho=6400 \frac{kg}{m^3}, A=1.0^{-6} m^2, F=4N$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{6400 \times 1.0^{-6}}} \Rightarrow v = 25 \frac{m}{s}$$

۴۹۹- گزینهی «۱»

چون  $F$ ،  $\rho$  و  $A$  معلوم است، با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\rho.A}}$  سرعت انتشار موج‌های عرضی در طناب را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho.A}} \quad \rho=8000 \frac{kg}{m^3}, A=1.0^{-6} m^2, F=80N$$

$$v = \sqrt{\frac{80}{8000 \times 1.0^{-6}}} \Rightarrow v = 100 \frac{m}{s}$$

۵۰۰- گزینهی «۲»

چون  $\Delta x$  و  $\Delta t$  معلوم است ابتدا از رابطه‌ی  $\Delta x = v \Delta t$  سرعت انتشار موج را حساب می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی بین سرعت انتشار موج عرضی و قطر تار استفاده می‌کنیم.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0.8}{0.02} = 40 \frac{m}{s} \quad \text{و} \quad v = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot \pi}}$$

$$\Rightarrow 40 = \frac{2}{1 \times 10^{-3}} \sqrt{\frac{F}{8000 \times \pi}} \Rightarrow F = 9.6N$$

۵۰۱- گزینهی «۲»

وقتی طول تار را نصف کنیم، جرم آن نیز نصف می‌شود، بنابراین طبق رابطه‌ی  $\mu = \frac{m}{L}$ ،  $\mu$  جرم واحد طول آن ( $\mu$ ) ثابت می‌ماند. دراین حالت با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  می‌توانیم نسبت  $\frac{v_2}{v_1}$  را حساب کنیم.

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1} \times \frac{\mu_1}{\mu_2}} \quad \mu_1 = \mu_2, F_2 = 2F_1 \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{2F_1}{F_1} \times 1}$$

$$\Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{2}$$

۵۰۲- گزینهی «۴»

با استفاده از رابطه‌ی مقایسه‌ای سرعت انتشار موج عرضی در تار، نیروی کشش تار در حالت دوم را بر حسب  $F_1$  حساب می‌کنیم و سپس درصد تغییرات نیروی کشش را به دست می‌آوریم.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \mu = \text{ثابت} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}}$$

$$\frac{v_1=10.0 \frac{m}{s}, v_2=11.0 \frac{m}{s}}{10.0} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \Rightarrow 1/21 = \frac{F_2}{F_1}$$

$$\Rightarrow F_2 = 1/21 F_1$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 \Rightarrow \Delta F = 1/21 F_1 - F_1$$

$$\Rightarrow \Delta F = 0/21 F_1 \Rightarrow \Delta F = \%21 F_1$$

۵۰۳- گزینهی «۲»

سرعت انتشار موج در محیط به ویژگی‌های چشمه‌ی موج (بسامد، دامنه و...) بستگی ندارد، بلکه به شرایط فیزیکی محیط (جنس محیط، دما و...) بستگی دارد. بنابراین با افزایش بسامد نوسان چشمه‌ی موج، سرعت انتشار موج در محیط تغییر نمی‌کند.

۵۰۴- گزینهی «۳»

سرعت انتشار موج در محیط به ویژگی‌های چشمه‌ی موج (بسامد، دامنه و...) بستگی ندارد، بلکه به شرایط فیزیکی محیط (جنس محیط، دما و...) بستگی دارد. بنابراین با افزایش دامنه‌ی نوسان چشمه‌ی موج، سرعت انتشار موج در محیط تغییر نمی‌کند.

۵۰۵- گزینهی «۱»

طبق رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ، سرعت انتشار موج‌های عرضی در طول ریسمان با جذر نیروی کشش آن نسبت مستقیم دارد.

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{D_B}{D_A} \sqrt{\frac{F_A}{F_B} \times \frac{\rho_B}{\rho_A}} \quad \frac{\rho_A = \rho_B, D_B = 2D_A}{F_A = 2F_B} \rightarrow$$

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{2D_A}{D_A} \times \sqrt{\frac{2F_B}{F_B} \times 1} \Rightarrow \frac{v_A}{v_B} = 2\sqrt{2}$$

گزینه «۲» - ۵۱۳

چون  $\lambda$  (فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی) و  $v$  معلوم‌اند، از رابطه‌ی

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

بسامد موج را حساب می‌کنیم.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \lambda = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}, v = 5 \text{ m/s} \rightarrow 0.01 = \frac{5}{f} \Rightarrow f = 50 \text{ Hz}$$

گزینه «۳» - ۵۱۴

ابتدا سرعت انتشار موج را حساب می‌کنیم و سپس مدت زمان را به دست می‌آوریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \lambda = 0.5 \text{ m}, f = 100 \text{ Hz} \rightarrow 0.5 = \frac{v}{100} \Rightarrow v = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta x = v \Delta t \quad \Delta x = 10 \text{ m} \rightarrow 10 = 50 \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{5} \text{ s}$$

گزینه «۲» - ۵۱۵

چون  $\lambda$  و  $v$  معلوم است، ابتدا از رابطه‌ی  $\lambda = \frac{v}{f}$ ، بسامد ( $f$ ) را حساب می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی  $\omega = 2\pi f$  بسامد زاویه‌ای را به دست می‌آوریم.

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \lambda = 0.8 \text{ m} \rightarrow f = \frac{20}{0.8} = 25 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f \quad f = 25 \text{ Hz} \rightarrow \omega = 2\pi \times 25 \Rightarrow \omega = 50\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

گزینه «۴» - ۵۱۶

نقطه‌هایی از محیط که فاصله‌ی آن‌ها از یک دیگر مضرب زوجی از نصف طول موج باشد، هم فازند و در صورتی که فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر مضرب فردی از نصف طول موج باشد، در فاز مخالف‌اند.

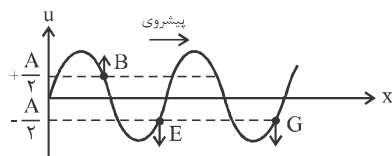
گزینه «۱» - ۵۱۷

در گزینه‌ی «۱» کلمه‌ی «هر» باعث شده تا عبارت نادرست باشد. فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی در فاز مخالف متوالی، برابر نصف طول موج است.

گزینه «۳» - ۵۱۸

چون وضعیت نوسانی نقطه‌های در فاز مخالف قرینه هم‌اند، بنابراین نقطه‌هایی که مکان و سرعت آن‌ها قرینه‌ی هم باشند با هم در فاز مخالف‌اند.

در این شکل بین نقطه‌های داده شده، نقطه‌های E و G در فاز مخالف با نقطه‌ی B است.



گزینه «۱» - ۵۰۶

طبق رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ ، سرعت انتشار موج‌های عرضی در طناب با جذر جرم واحد طول آن ( $\mu$ ) نسبت معکوس دارد.

گزینه «۱» - ۵۰۷

سرعت انتشار موج عرضی در یک تار که با نیروی  $F$  کشیده شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}} \quad \frac{F = 20 \text{ N}, L = 0.6 \text{ m}}{m = 20 \times 10^{-3} \text{ kg}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{20 \times 0.6}{20 \times 10^{-3}}}$$

$$\Rightarrow v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

گزینه «۳» - ۵۰۸

چون  $F$ ،  $L$  و  $m$  معلوم است، با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}}$  سرعت انتشار موج‌های عرضی در طناب را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}} \quad \frac{L = 0.8 \text{ m}, m = 0.05 \text{ kg}, F = 4 \text{ N}}{} \rightarrow v = \sqrt{\frac{4 \times 0.8}{0.05}}$$

$$\Rightarrow v = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

گزینه «۴» - ۵۰۹

چون  $F$ ،  $L$  و  $v$  معلوم است، با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}}$  جرم سیم را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}} \quad v = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}}, L = 0.8 \text{ m}, F = 32 \text{ N} \rightarrow 16 = \sqrt{\frac{32 \times 0.8}{m}}$$

$$\Rightarrow m = 0.1 \text{ kg} = 100 \text{ g}$$

گزینه «۳» - ۵۱۰

طبق رابطه‌ی  $v = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \rho}}$ ، سرعت انتشار موج‌های عرضی در یک سیم با قطر آن نسبت معکوس دارد، اما به طول سیم بستگی ندارد.

گزینه «۳» - ۵۱۱

اگر طول طناب را ثابت نگاه داریم، جرم آن نیز ثابت می‌ماند، بنابراین با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}}$ ، نسبت  $\frac{v_2}{v_1}$  را به دست می‌آوریم.

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{F_2}{F_1} \times \frac{L_2}{L_1} \times \frac{m_1}{m_2}} \quad m_1 = m_2, L_1 = L_2, F_2 = 4F_1 \rightarrow$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{4F_1}{F_1} \times 1 \times 1} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = 2$$

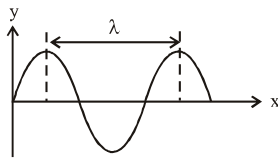
گزینه «۱» - ۵۱۲

چون قطر و نیروی کشش هر دو سیم معلوم است، با استفاده از

$$v = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$$

رابطه‌ی می‌توان نوشت:

درصد پاسخ درست (۲۴٪)



$$\lambda = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{5 \times 10^{-2}} = 40\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

**گزینه ۴» -۵۲۵**  
مطابق شکل فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی موج برابر یک طول موج ( $\lambda$ ) است، بنابراین می‌توان نوشت:

**گزینه ۳» -۵۲۶**  
با توجه به رابطه‌ی  $k = \frac{\omega}{v}$ ، نسبت بسامد زاویه‌ای به سرعت انتشار موج برابر  $k$  یا عدد موج است.

**گزینه ۱» -۵۲۷**  
چون منبع موج در هر ثانیه ۲۰ نوسان کامل انجام می‌دهد، بسامد موج برابر  $f = 20 \text{ Hz}$  است. بنابراین با محاسبه‌ی  $\omega$  و استفاده از رابطه‌ی  $k = \frac{\omega}{v}$ ، سرعت انتشار موج را حساب می‌کنیم.

$$\omega = 2\pi f \xrightarrow{f=20 \text{ Hz}} \omega = 2\pi \times 20 \Rightarrow \omega = 40\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v = \frac{\omega}{k} \xrightarrow{\omega=40\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, k=40\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}} v = \frac{40\pi}{40\pi} \Rightarrow v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**گزینه ۲» -۵۲۸**  
می‌دانیم که در تابع موج اندیس  $u$  بیان‌گر راستای نوسان و ضریب  $k$  (عدد موج) بیان‌گر راستای انتشار موج است. چون در این سؤال، نوسان در راستای محور  $X$  (اندیس  $u$ ) و انتشار موج در راستای محور  $Y$  (ضریب  $k$ ) می‌باشد و این دو راستا بر یک‌دیگر عمودند، لذا موج عرضی است. از طرف دیگر چون علامت پشت  $ky$  منفی است، می‌توان دریافت موج در جهت محور  $Y$  در حال انتشار است.

**گزینه ۲» -۵۲۹**  
با توجه به این که عدد موج و سرعت انتشار موج داده شده است، می‌توان بسامد زاویه‌ای را تعیین کرد و سپس تابع موج را به صورت زیر بیان کرد.

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{k=2 \frac{\text{rad}}{\text{cm}}, v=25 \frac{\text{m}}{\text{s}}} 20 = \frac{\omega}{25} \Rightarrow \omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$u_y = A \sin(\omega t - kx) \xrightarrow{A=4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}, \omega=500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, k=2 \frac{\text{rad}}{\text{m}}}$$

$$u_y = 0.04 \sin(500t - 20x)$$

**گزینه ۴» -۵۳۰**  
با توجه به تابع موج، می‌توان عدد موج و بسامد زاویه‌ای را تعیین کرد و پس از آن سرعت انتشار موج را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$u_y = 10^{-3} \sin(200t - 10\pi x) \xrightarrow{u_y = A \sin(\omega t - kx)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = 200 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ k = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}} \end{array} \right.$$

$$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow 10\pi = \frac{200}{v} \Rightarrow v = \frac{20 \text{ m}}{\pi \text{ s}}$$

**گزینه ۲» -۵۲۹**  
می‌دانیم فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی برابر یک طول موج است، بنابراین، با معلوم بودن  $v$  و  $f$ ، با استفاده از رابطه‌ی  $\lambda = \frac{v}{f}$ ، طول موج را به دست می‌آوریم.

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{f=2/5 \text{ Hz}, v=0/5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \lambda = \frac{0/5}{2/5} = 0/2 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \lambda = 20 \text{ cm}$$

**گزینه ۱» -۵۲۰**  
می‌دانیم کم‌ترین فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی هم‌فاز برابر یک طول موج است. بنابراین با توجه به معلوم بودن  $v$  و  $f$  با استفاده از رابطه‌ی  $\lambda = \frac{v}{f}$ ، طول موج را به دست می‌آوریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{f=50 \text{ Hz}, v=20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \lambda = \frac{20}{50} = 0/4 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 40 \text{ cm}$$

**گزینه ۳» -۵۲۱**  
موج‌های عرضی در جامدات و سطح مایعات و موج‌های طولی در جامدات، مایعات و گازها منتشر می‌شوند. بنابراین در هوا فقط موج مکانیکی طولی منتشر می‌شود.

**گزینه ۱» -۵۲۲**  
در ابتدا سرعت انتشار موج در طناب را حساب می‌کنیم و سپس از آن طول موج ایجادشده را می‌یابیم:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{F=8 \text{ N}, \mu=20 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}}} v = \sqrt{\frac{8}{20 \times 10^{-3}}} \Rightarrow v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{v=20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, f=50 \text{ Hz}} \lambda = \frac{20}{50} \Rightarrow \lambda = 0/4 \text{ m}$$

**گزینه ۳» -۵۲۳**  
چون سرعت انتشار به شرایط فیزیکی چشمه‌ی موج (بسامد، دامنه و ... بستگی ندارد، بنابراین سرعت انتشار برای هر دو موج یکسان است.

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1} \times \frac{f_1}{f_2} \xrightarrow{v_1=v_2, f_1=50 \text{ Hz}, f_2=75 \text{ Hz}}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1 \times \frac{50}{75} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{2}{3}$$

**گزینه ۱» -۵۲۴**  
درصد پاسخ درست (۱۹٪)

هرگاه موج از یک محیط (سیم نازک) وارد محیط دیگر (سیم ضخیم) شود بسامد آن ثابت می‌ماند. زیرا بسامد از ویژگی‌های چشمه‌ی موج است و به شرایط فیزیکی محیط (جنس و سطح مقطع سیم‌ها) بستگی ندارد.

اما طبق رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$  چون موج وارد سیم با سطح مقطع

بزرگ‌تر می‌شود، سرعت آن کاهش می‌یابد و طبق رابطه‌ی  $\lambda = \frac{v}{f}$ ، چون  $f$  ثابت است، طول موج آن نیز کاهش خواهد یافت.



$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{k=40\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}}{\omega=10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \rightarrow 40\pi = \frac{10\pi}{v} \Rightarrow v = 25 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\Delta x = v\Delta t \xrightarrow{\Delta x=12/5 \text{cm}} 12/5 = 25\Delta t \Rightarrow \Delta t = 0/5 \text{s}$$

#### ۵۲۶- گزینهی «۴»

ابتدا تابع موج را به صورت زیر در می‌آوریم.

$$u_y = 0/02 \sin \pi(0/4x + 12t)$$

$$\Rightarrow u_y = 0/02 \sin(12\pi t + 0/4\pi x)$$

این رابطه نشان می‌دهد، چون علامت ضریب  $x$  مثبت است موج در

خلاف جهت محور  $x$  منتشر می‌شود و بسامد زاویه‌ای آن  $12\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

است. بنابراین گزینه‌های «۱» و «۳» نادرست است.

برای بررسی دو گزینهی دیگر باید سرعت انتشار و طول موج را به صورت زیر به دست می‌آوریم.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \xrightarrow{k=0/4\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}} 0/4\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 5 \text{m}$$

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{\omega=12\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} 0/4\pi = \frac{12\pi}{v} \Rightarrow v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

می‌بینیم گزینهی «۴» درست است.

#### ۵۲۷- گزینهی «۳»

چون تابع موج معلوم است، ابتدا عدد موج و بسامد زاویه‌ای را از روی تابع موج تعیین می‌کنیم و سپس با استفاده از عدد موج سرعت انتشار موج را به دست می‌آوریم و در نهایت با استفاده از رابطه‌ی سرعت انتشار موج عرضی در تار، جرم سیم را حساب می‌کنیم.

$$u_y = 5 \times 10^{-3} \sin(500\pi t - 5\pi x) \Rightarrow \begin{cases} \omega = 500\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} \\ k = 5\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}} \end{cases}$$

$$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow 5\pi = \frac{500\pi}{v} \Rightarrow v = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \xrightarrow{F=20\text{N}, L=0/5\text{m}} 100 = \sqrt{\frac{20 \times 0/5}{m}} \rightarrow$$

$$10000 = \frac{0/2}{m} \Rightarrow m = 2 \times 10^{-5} \text{kg} \Rightarrow m = 0/2 \text{g}$$

#### ۵۲۸- گزینهی «۲»

ابتدا به کمک تابع موج، سرعت انتشار موج در طناب ( $v$ ) را تعیین و سپس به کمک آن جرم هر متر سیم، یعنی جرم واحد طول ( $\mu$ ) را محاسبه می‌نماییم.

$$u_y = 0/02 \sin\left(\frac{2\pi}{k}x + \frac{100\pi}{\omega}t\right)$$

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{k=2\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}, \omega=100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} v = \frac{100\pi}{2\pi} = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{F=20\text{N}} 50 = \sqrt{\frac{20}{\mu}} \Rightarrow \mu = \frac{20}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \Rightarrow \mu = 2 \frac{\text{g}}{\text{m}}$$

#### ۵۳۱- گزینهی «۳»

اگر تابع موج داده شده را با معادله‌ی کلی تابع موج هم‌ارز قرار دهیم، مسئله حل خواهد شد:

$$u = 0/01 \sin(500t - 25x) \quad (1)$$

$$u = A \sin(\omega t - kx) \quad (2)$$

$$(1) \equiv (2) \rightarrow k = 25 \frac{\text{rad}}{\text{m}} \text{ و } \omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v = \frac{\omega}{k} \xrightarrow{\omega=500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, k=25 \frac{\text{rad}}{\text{m}}} v = \frac{500}{25} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### ۵۳۲- گزینهی «۳»

چون نوسان در راستای محور  $y$  (اندیس  $u$ ) و انتشار موج در راستای محور  $x$  (ضریب  $k$ ) می‌باشد و این دو راستا بر هم عمودند، نوع موج عرضی است. از طرف دیگر با توجه به تابع موج داده شده

$\omega = 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  و  $k = 50\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$  می‌باشد. بنابراین با استفاده از

رابطه‌ی  $k = \frac{\omega}{v}$ ، سرعت انتشار موج برابر است با:

$$v = \frac{\omega}{k} \xrightarrow{\omega=500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, k=50\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}} v = \frac{500}{50\pi} \Rightarrow v = \frac{10}{\pi} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

دقت کنید، در تابع موج ضریب  $t$  برابر  $\omega$  و ضریب  $x$  برابر  $k$  می‌باشد.

#### ۵۳۳- گزینهی «۲»

ابتدا با استفاده از عدد موج، طول موج را حساب می‌کنیم.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \xrightarrow{k=2\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}} \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1 \text{m}$$

چون فاصله‌ی دو نقطه‌ی در فاز مخالف مضرب فرد  $\frac{\lambda}{2}$  است. می‌توان

نوشت:

$$\Delta x = (2n-1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \begin{cases} n=1 \Rightarrow \Delta x = 1 \times \frac{1}{2} = 0/5 \text{m} \\ n=2 \Rightarrow \Delta x = 3 \times \frac{1}{2} = 1/5 \text{m} \\ n=3 \Rightarrow \Delta x = 5 \times \frac{1}{2} = 2/5 \text{m} \end{cases}$$

#### ۵۳۴- گزینهی «۴»

ابتدا سرعت انتشار موج را از رابطه‌ی  $v = \frac{\omega}{k}$  به دست می‌آوریم:

$$v = \frac{\omega}{k} \xrightarrow{\omega=100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, k=40\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}} v = \frac{100\pi}{40\pi} = 2/5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

اکنون مسافت طی شده توسط موج را حساب می‌کنیم:

$$\Delta x = v\Delta t = 2/5 \times 2 = 5 \text{m}$$

#### ۵۳۵- گزینهی «۱»

سرعت انتشار موج ثابت است و معادله‌ی انتشار  $\Delta x = v\Delta t$  می‌باشد. برای محاسبه‌ی زمان جابه‌جایی به اندازه‌ی  $12/5$  سانتی‌متر باید سرعت انتشار را تعیین نمود. با مقایسه‌ی معادله‌ی کلی موج و معادله‌ی مطرح شده در صورت تست، سرعت انتشار را به دست می‌آوریم:

## ۵۴۳- گزینهی «۱»

ابتدا در معادله‌ی حرکت نوسانی ذره‌ی A به جای  $y_A$  عدد ۳ قرار می‌دهیم و مقدار عددی  $(4\pi t - \frac{\pi}{6})$  را به دست می‌آوریم و در ادامه‌ی حل سؤال به جای  $(4\pi t - \frac{\pi}{6})$  آن مقدار را قرار می‌دهیم.

$$y_A = 5 \sin(4\pi t - \frac{\pi}{6}) \Rightarrow 3 = 5 \sin(4\pi t - \frac{\pi}{6})$$

$$\Rightarrow \sin(4\pi t - \frac{\pi}{6}) = \frac{3}{5} = \sin 37^\circ \Rightarrow 4\pi t - \frac{\pi}{6} \equiv 37^\circ$$

اکنون مکان ذره‌ی A را در لحظه‌ی  $(t + 0.125)$  ثانیه به دست می‌آوریم.

$$y_A = 5 \sin[4\pi(t + 0.125) - \frac{\pi}{6}] = 5 \sin(4\pi t + \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6})$$

$$y_A = 5 \sin(4\pi t - \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{2}) \xrightarrow{(4\pi t - \frac{\pi}{6}) = 37^\circ}$$

$$y_A = 5 \sin(37^\circ + 90^\circ) \xrightarrow{\sin(37^\circ + 90^\circ) = \cos 37^\circ}$$

$$y_A = 5 \cos 37^\circ = 5 \times 0.8 \Rightarrow y_A = 4 \text{ cm}$$

## ۵۴۴- گزینهی «۱»

با استفاده از رابطه‌ی اختلاف فاز یک نقطه از محیط با چشمه‌ی موج می‌توان نوشت:

$$\Delta\phi = kd \xrightarrow{\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ rad}} \frac{2\pi}{\lambda} d = \frac{2\pi}{\lambda} d \Rightarrow d = \frac{\lambda}{2}$$

## ۵۴۵- گزینهی «۲»

با استفاده از رابطه‌ی بین اختلاف فاز و فاصله‌ی دو نقطه، طول موج را حساب می‌کنیم:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi \Delta x}{\lambda} \xrightarrow{\Delta\phi = \frac{\pi}{5} \text{ rad}, \Delta x = 4 \text{ cm}} \frac{\pi}{5} = \frac{2\pi \times 4}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 4 \text{ cm}$$

## ۵۴۶- گزینهی «۴»

چون  $\Delta x$ ،  $\omega$  و  $\Delta\phi$  معلوم است، با استفاده از رابطه‌ی  $\Delta\phi = \frac{\omega}{v} \Delta x$ ، سرعت انتشار موج را حساب می‌کنیم.

$$y = 0.1 \sin(12\pi t + \frac{\pi}{3}) \Rightarrow \omega = 12\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Delta\phi_{\min} = \frac{\omega}{v} \Delta x \xrightarrow{\Delta\phi_{\min} = \frac{\pi}{4} \text{ rad}, \Delta x = 0.25 \text{ m}, \omega = 12\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$\frac{\pi}{4} = \frac{12\pi}{v_{\max}} \times 0.25 \Rightarrow v_{\max} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## ۵۴۷- گزینهی «۲»

ابتدا اختلاف فاز بین دو نقطه را حساب می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

استفاده می‌کنیم:

$$\Delta\phi = |\phi_B - \phi_A| = |2\pi t - 0 - 4\pi - 2\pi t + 1/2\pi|$$

$$= 0.8\pi \text{ rad} \Rightarrow 0.8\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \Rightarrow \Delta x = \frac{\lambda}{5}$$

## ۵۴۹- گزینهی «۳»

با مقایسه‌ی رابطه‌ی  $x = A \sin(\omega t - \theta)$  با تابع موج  $u = A \sin(\omega t - kx)$ ، می‌بینیم  $\theta = kx$  است. بنابراین با توجه

به این که  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  می‌باشد، می‌توان نوشت:

$$\theta = \frac{2\pi}{\lambda} x \xrightarrow{\lambda = 2 \text{ m}, x = 0.4 \text{ m}} \theta = \frac{2\pi}{2} \times 0.4$$

$$\Rightarrow \theta = \frac{2\pi}{5} \text{ rad}$$

## ۵۴۰- گزینهی «۱»

اگر معادله‌ی نوسان چشمه موج  $y = A \sin \omega t$  باشد، معادله‌ی نوسان نقطه‌ی M به فاصله‌ی x از آن از رابطه‌ی  $y_M = A \sin(\omega t - kx)$  به عبارتی نقطه‌ی M به اندازه‌ی kx نسبت به چشمه تأخیر فاز دارد. حال داریم:

$$y = 0.1 \sin(100\pi t)$$

$$\Delta\phi = kx = \frac{\omega}{v} x \xrightarrow{\omega = 100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, x = 0.25 \text{ m}, v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\Delta\phi = \frac{100\pi \times 0.25}{20} = \frac{5\pi}{4} \text{ rad}$$

$$\rightarrow y_M = 0.1 \sin(100\pi t - \frac{5\pi}{4})$$

## ۵۴۱- گزینهی «۱»

با توجه به این که همه‌ی نقطه‌های محیط نسبت به چشمه‌ی موج تأخیر فاز دارند، ابتدا معادله‌ی نوسانی ذره‌ای که در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از چشمه‌ی موج قرار دارد را به دست می‌آوریم و سپس

مکان آن ذره را در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{20}$  s حساب می‌کنیم.

$$y = 0.4 \sin 10\pi t \Rightarrow \omega = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{\omega = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, v = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} k = \frac{10\pi}{2} = 5\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$u = A \sin(\omega t + \phi_0 - kx) \xrightarrow{A = 0.4 \text{ m}, k = 5\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}, \omega = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \phi_0 = 0}$$

$$u = 0.4 \sin(10\pi t - 5\pi \times 0.1) \xrightarrow{t = \frac{1}{20} \text{ s}}$$

$$u = 0.4 \sin(10\pi \times \frac{1}{20} - \frac{\pi}{2}) = 0.4 \sin(0) \Rightarrow u = 0$$

## ۵۴۲- گزینهی «۲»

ابتدا معادله‌ی مکان ذره‌ی مورد نظر را به دست می‌آوریم و سپس از آن مشتق می‌گیریم تا معادله‌ی سرعت آن به دست آید و در آخر سرعت آن را در لحظه‌ی مورد نظر حساب می‌کنیم.

$$u_y = 0.2 \sin(10\pi t - 4\pi x) \xrightarrow{x = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}}$$

$$u_y = 0.2 \sin(10\pi t - 4\pi \times 0.05) = 0.2 \sin 10\pi t$$

$$v = \frac{du_y}{dt} \xrightarrow{t = \frac{1}{20} \text{ s}} = 0.2\pi \cos 10\pi t$$

$$v = 0.2\pi \cos \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{10} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10\pi \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

## ۵۴۸- گزینهی «۲»

ابتدا اختلاف فاز بین دو نقطه را به دست می‌آوریم و سپس از رابطه‌ی  $\Delta\varphi = \omega\Delta t$ ، بازه‌ی زمانی را حساب می‌کنیم.

$$|\Delta\varphi| = |\varphi_A - \varphi_B| = \left| 2\pi t - \frac{\pi}{3} - \left( 2\pi t - \frac{\pi}{2} \right) \right|$$

$$|\Delta\varphi| = \left| -\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{2} \right| = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t \xrightarrow{\Delta\varphi = \frac{\pi}{6} \text{ rad}, \omega = 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \frac{\pi}{6} = 2\pi(\Delta t) \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{12} \text{ s}$$

## ۵۴۹- گزینهی «۳» درصد پاسخ درست (۲۲٪)

در موج عرضی راستای نوسان ذره‌های محیط عمود بر راستای انتشار موج است. این نوع موج‌ها در جامدها (طناب، فنر تارهای موسیقی و ...) و در سطح برخی مایع‌ها (مانند آب) ایجاد و منتشر می‌شوند. دقت کنید، موج‌های طولی در درون شاره‌ها (مایع و گازها) منتشر می‌شوند.

## ۵۵۰- گزینهی «۱»

درصد پاسخ درست (۹٪)

ابتدا سرعت نوسان ذره‌ی واقع در مکان  $x = 0$  را در لحظه‌ی مورد نظر به دست می‌آوریم. به همین منظور ابتدا معادله‌ی نوسان نقطه‌ی واقع در  $x = 0$  را به دست آوریم و سپس از آن مشتق می‌گیریم تا معادله سرعت به دست آید و در آخر سرعت در لحظه‌ی  $t = \frac{\pi}{15} \text{ s}$  را حساب می‌کنیم.

$$u_y = 0.03 \sin(30t - 5x) = 0.03 \sin 30t$$

$$\Rightarrow v_y = 0.03 \times 30 \cos 30t \xrightarrow{t = \frac{\pi}{15} \text{ s}}$$

$$v_y = 0.9 \cos 30 \times \frac{\pi}{15} \Rightarrow v_y = 0.9 \cos 2\pi$$

$$\xrightarrow{\cos 2\pi = 1} v_y = 0.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

اکنون از رابطه‌ی  $k = \frac{\omega}{v}$  سرعت انتشار موج را به دست می‌آوریم:

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{k = 5 \frac{\text{rad}}{\text{m}}, \omega = 30 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} 5 = \frac{30}{v} \Rightarrow v = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{v_y} = \frac{6}{0.9} = \frac{60}{9} = \frac{20}{3}$$

## ۵۵۱- گزینهی «۱»

با فرض این که موج در جهت محور X منتشر می‌شود، با تعیین دامنه (A)، بسامد زاویه‌ای ( $\omega$ ) و عدد موج (k) تابع موج را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\omega = 2\pi f \xrightarrow{f = 100 \text{ Hz}} \omega = 2\pi \times 100 = 200\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{v = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \omega = 200\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} k = \frac{200\pi}{20} = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$u = A \sin(\omega t - kx) \xrightarrow{A = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}, \omega = 200\pi, k = 10\pi}$$

$$u = 5 \times 10^{-3} \sin(200\pi t - 10\pi x)$$

$$\Rightarrow u = 5 \times 10^{-3} \sin 10\pi(20t - x)$$

## ۵۵۲- گزینهی «۱»

با توجه به این که همه‌ی نقطه‌های محیط نسبت به چشمه‌ی موج تأخیر فاز دارند، ابتدا برای محاسبه‌ی فاز نقطه‌ی M، به فاز چشمه‌ی موج به اندازه‌ی (-kx) اضافه می‌کنیم. بنابراین داریم:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0.1} = 20\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$u_m = 0.03 \sin(100\pi t - kx) \xrightarrow{k = 20\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}, x = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}}$$

$$u_m = 0.03 \sin(100\pi t - 20\pi \times 0.2)$$

$$\Rightarrow u_m = 0.03 \sin(100\pi t - 4\pi)$$

$$\Rightarrow u_m = 0.03 \sin 4\pi(25t - 1)$$

## ۵۵۳- گزینهی «۱»

ابتدا معادله‌ی نوسان ذره‌ی واقع در مکان  $x = 0.5 \text{ m}$  را به دست می‌آوریم و سپس از آن مشتق می‌گیریم تا معادله‌ی سرعت به دست آید.

$$u_y = 0.05 \sin(\pi t - \pi x) \xrightarrow{x = 0.5 \text{ m}}$$

$$u_y = 0.05 \sin(\pi t - \frac{\pi}{2})$$

$$v = \frac{du_y}{dt} \Rightarrow v = 0.05\pi \cos(\pi t - \frac{\pi}{2})$$

اکنون سرعت در لحظه‌های  $t_1 = 0$  و  $t_2 = 1 \text{ s}$  را به دست می‌آوریم

و سپس از رابطه‌ی  $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، شتاب متوسط را حساب می‌کنیم.

$$t_1 = 0 \Rightarrow v_1 = 0.05\pi \cos(0 - \frac{\pi}{2}) \xrightarrow{\cos(-\frac{\pi}{2}) = 0} v_1 = 0$$

$$t_2 = 1 \text{ s} \Rightarrow v_2 = 0.05\pi \cos(\pi - \frac{\pi}{2}) \xrightarrow{\cos \frac{\pi}{2} = 0} v_2 = 0$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 0}{1} \Rightarrow \bar{a} = 0$$

## ۵۵۴- گزینهی «۳» درصد پاسخ درست (۱۱٪)

ابتدا معادله‌ی حرکت نوسانی ذره‌ای از محیط که در فاصله‌ی ۰/۵ متری از چشمه‌ی موج واقع است را به دست می‌آوریم.

$$u_y = 0.02 \sin(100\pi t - 2\pi x) \xrightarrow{x = 0.5 \text{ m}}$$

$$u_y = 0.02 \sin(100\pi t - \pi)$$

اکنون مکان جسم در لحظه‌ی  $t = 0.2 \text{ s}$  را به دست می‌آوریم.

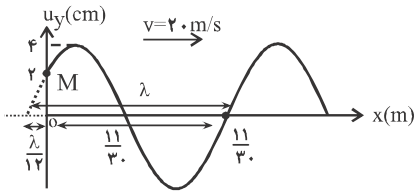
$$u_y = 0.02 \sin(100\pi \times 0.2 - \pi) = 0.02 \sin(20\pi - \pi) = 0$$

در نهایت با استفاده از رابطه‌ی  $a = -\omega^2 y$  شتاب ذره را حساب می‌کنیم.

$$a = -\omega^2 y \xrightarrow{\omega = 100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, y = 0} a = -100\pi \times 0 \Rightarrow a = 0$$

## ۵۵۵- گزینهی «۴»

می‌دانیم در انتشار موج در محیط، هر ذره تمایل به تکرار وضعیت ذره‌ی مقابل خود را دارد. با توجه به این که ذره‌ی M در حال بالارفتن است، بنابراین ذره‌ی مقابل M، بالاتر از M بوده است در نتیجه موج به سمت چپ حرکت می‌کند. با توجه به نقش موج می‌توان برای تعیین طول موج، به صورت زیر عمل کرد (با توجه به موقعیت ذره‌ی N داریم):



$$\frac{11}{30} = \lambda - \frac{\lambda}{12} = \frac{11}{12}\lambda \Rightarrow \lambda = 0.4 \text{ m}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \xrightarrow{\lambda=0.4 \text{ m}} k = \frac{2\pi}{0.4} \Rightarrow k = 5\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{k=5\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}, v=2.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \Delta\pi = \frac{\omega}{2.0} \Rightarrow \omega = 10.0\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

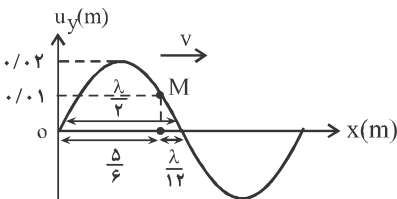
$$u_y = A \sin(\omega t + \phi_0 - kx) \xrightarrow{\omega=10.0\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \phi_0=5\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}}$$

$$u_y = 0.04 \sin(10.0\pi t + \frac{5\pi}{6} - 5\pi x)$$

گزینه «۳» - ۵۵۹

تعداد نوسان‌ها در هر ثانیه برابر بسامد (f) است. در ابتدا طول موج را محاسبه می‌کنیم و سپس با توجه به معلوم بودن سرعت انتشار، مقدار f را می‌یابیم. با توجه به موقعیت ذره‌ی M داریم:

$$\sin \phi_M = \frac{u_M}{A} = \frac{0.01}{0.02} = \frac{1}{2} \Rightarrow \phi_M = \frac{\pi}{6}$$



$$\frac{5}{6} + \frac{\lambda}{12} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{\lambda=2 \text{ m}, v=1.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} 2 = \frac{1.0}{f} \Rightarrow f = 0.5 \text{ Hz}$$

گزینه «۳» - ۵۶۰

می‌دانیم اختلاف فاز بین دونقطه‌ی معین از محیط، در هر لحظه مقدار ثابتی است و به زمان بستگی ندارد. بنابراین کافی است فاز نقطه‌های A و B را در لحظه‌ی t = 0 به دست آوریم و سپس اختلاف آن‌ها را حساب کنیم. به همین منظور ابتدا فاز اولیه‌ی این نقطه‌ها را به دست می‌آوریم.

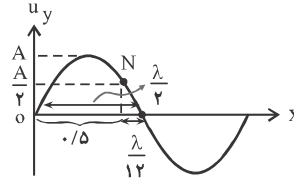
$$\sin \phi_{0B} = \frac{y_{0B}}{A} \xrightarrow{y_{0B}=0, A=2 \text{ cm}}$$

$$\sin \phi_{0B} = \frac{0}{2} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \phi_{0B} = 0 \\ \phi_{0B} = \pi \text{ rad} \end{cases}$$

با توجه به جهت انتشار موج چون در لحظه‌ی t = 0 سرعت نقطه‌ی B مثبت (v\_B > 0) است، بنابراین phi\_{0B} = 0 قابل قبول است.

$$\sin \phi_{0A} = \frac{y_{0A}}{A} \xrightarrow{y_{0A}=1 \text{ cm}, A=2 \text{ cm}}$$

$$\sin \phi = \frac{u_N}{A} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow \phi_N = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$



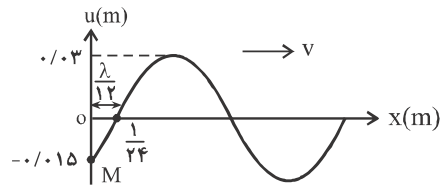
با توجه به این‌که  $\frac{\pi}{6}$  رادیان هم‌ارز  $\frac{\lambda}{12}$  است. داریم:

$$0.5 + \frac{\lambda}{12} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 0.5 = \frac{5\lambda}{12} \Rightarrow \lambda = \frac{6}{5} \text{ m}$$

گزینه «۲» - ۵۵۶

برای تعیین سرعت انتشار موج، با توجه به این‌که بسامد موج معلوم است، در ابتدا طول موج را محاسبه می‌کنیم و پس از آن سرعت انتشار موج را می‌یابیم. (با توجه به موقعیت ذره‌ی M داریم):

$$\sin \phi_M = \frac{u_M}{A} = \frac{-0.15}{0.3} = -\frac{1}{2} \Rightarrow \phi_M = \frac{7\pi}{6} \text{ rad}$$



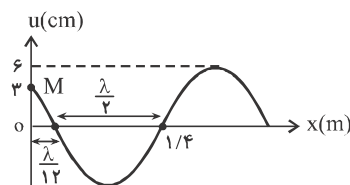
$$\frac{1}{24} = \frac{\lambda}{12} \Rightarrow \lambda = 0.5 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{\lambda=0.5 \text{ m}, f=10 \text{ Hz}} 0.5 = \frac{v}{10} \Rightarrow v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

گزینه «۲» - ۵۵۷

با توجه با این‌که بسامد موج معلوم است، برای تعیین سرعت انتشار موج، در ابتدا طول موج را محاسبه می‌کنیم: (با توجه به موقعیت ذره‌ی M داریم):

$$\sin \phi_M = \frac{u_M}{A} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow \phi_M = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$



$$\frac{1}{4} = \frac{\lambda}{12} + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{7\lambda}{12} \Rightarrow \lambda = \frac{2}{7} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{\lambda=2/7 \text{ m}, f=5 \text{ Hz}} \frac{2}{7} = \frac{v}{5} \Rightarrow v = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

گزینه «۲» - ۵۵۸

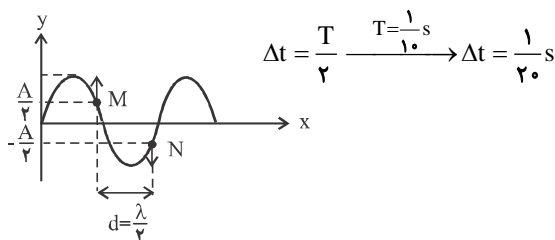
برای به دست آوردن تابع موج باید در معادله‌ی  $u = A \sin(\omega t + \phi_0 - kx)$ ، به جای A، omega و phi\_0 مقدار هر کدام را قرار دهیم. با توجه به موقعیت ذره‌ی M داریم:

$$\sin \phi_M = \frac{u_M}{A} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow \phi_M = \frac{5\pi}{6} \text{ rad}$$

فاصله‌ی آن‌ها برابر  $d = \frac{\lambda}{2}$  است، در نتیجه، موج این فاصله را در مدت  $\Delta t = \frac{T}{2}$  طی می‌کند.

$$d = v \cdot \Delta t \xrightarrow{d = \frac{\lambda}{2}} \frac{\lambda}{2} = v \cdot \Delta t \xrightarrow{\lambda = v \cdot T} \frac{v \cdot T}{2} = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{T}{2}$$

$$T = \frac{t}{n} \xrightarrow{t=1s, n=1} T = \frac{1}{1} s$$



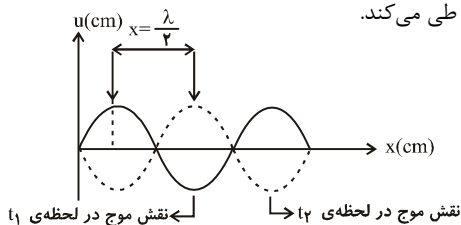
گزینه‌ی «۱» - ۵۶۴

پس از لحظه‌ی نشان داده شده، نقطه‌ی M به سمت پایین و نقطه‌ی N به سمت بالا حرکت می‌کنند. با توجه به این که مکان نقطه‌های M و N قرینه‌اند و جهت حرکت آن‌ها با هم مخالف است، نقطه‌های M و N در فاز مخالفند.

$\Delta\phi = \pi \text{ rad}$

گزینه‌ی «۳» - ۵۶۵

موج در این مدت به اندازه‌ی  $\frac{\lambda}{2}$  پیشروی کرده است که این فاصله را در مدت  $\frac{T}{2}$  طی می‌کند.

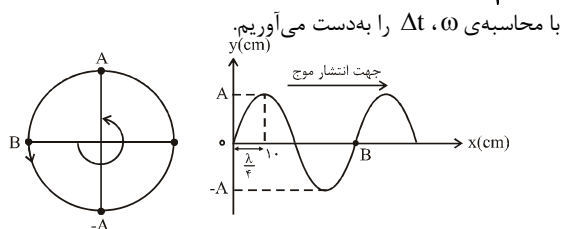


$$\Delta x = v \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{T} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{T}{2}$$

$$\Delta t = \frac{T}{2} \xrightarrow{T = \frac{1}{f}} \Delta t = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \times 50} = 10^{-2} s$$

گزینه‌ی «۴» - ۵۶۶

با توجه به دایره‌ی مرجع، چون ذره‌ی B در مرکز نوسان قرار دارد و جهت حرکت آن روبه پایین است، برای رسیدن به مکان +A باید تغییر فاز  $\frac{3\pi}{2} \text{ rad}$  بدهد. بنابراین ابتدا با توجه به نمودار،  $\lambda$  و سپس



با محاسبه‌ی  $\omega$ ،  $\Delta t$  را به دست می‌آوریم.

$$\sin \phi_{\circ A} = \frac{1}{2} \Rightarrow \begin{cases} \phi_{\circ A} = \frac{\pi}{6} \text{ rad} \\ \phi_{\circ A} = \frac{5\pi}{6} \text{ rad} \end{cases}$$

با توجه به جهت انتشار موج، چون  $v_A > 0$  است،  $\phi_{\circ A} = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$  قابل قبول است.

$\Delta\phi = |\phi_{\circ B} - \phi_{\circ A}| = |0 - \frac{\pi}{6}| = \frac{\pi}{6}$

گزینه‌ی «۳» - ۵۶۱

با توجه به جهت انتشار موج می‌توان فاز دو نقطه‌ی M و N را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\sin \phi_M = \frac{u_M}{A} = \frac{-1}{2} \Rightarrow \phi_M = \begin{cases} \frac{7\pi}{6} & v < 0 \\ \frac{11\pi}{6} & v > 0 \end{cases} \text{ ق ق}$$

$$\sin \phi_N = \frac{u_N}{A} = \frac{-1}{2} \Rightarrow \phi_N = \begin{cases} \frac{7\pi}{6} & v < 0 \\ \frac{11\pi}{6} & v > 0 \end{cases} \text{ ق ق}$$

$$\Delta\phi = |\phi_M - \phi_N| = \frac{11\pi}{6} - \frac{7\pi}{6} = \frac{2\pi}{3} \text{ rad}$$

گزینه‌ی «۲» - ۵۶۲

ابتدا فاز اولیه‌ی هر نقطه را حساب می‌کنیم.

$\sin \phi_A = \frac{y_A}{A} \xrightarrow{y_A = 2 \text{ cm}, A = 2 \text{ cm}} \rightarrow$

$$\sin \phi_A = \frac{2}{2} = 1 \Rightarrow \phi_A = \frac{\pi}{2}$$

$$\sin \phi_B = \frac{y_B}{A} \xrightarrow{y_B = 1 \text{ cm}, A = 2 \text{ cm}} \rightarrow \sin \phi_B = \frac{1}{2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \phi_B = \frac{\pi}{6} \text{ rad} \\ \phi_B = \frac{5\pi}{6} \text{ rad} \end{cases}$$

چون ذره‌ی B در مکان‌های مثبت و در حال دور شدن از مرکز نوسان است،  $\phi_B = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$  قابل قبول است. از طرف دیگر چون نقطه‌ی A نسبت به نقطه‌ی B تأخیر فاز دارد، باتوجه به دایره‌ی مرجع اختلاف فاز آن‌ها برابر است با:

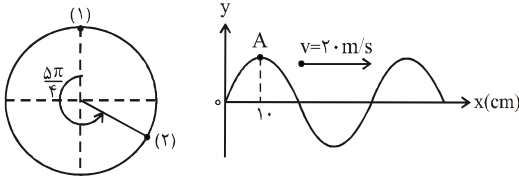
$\Delta\phi = (\phi_A - \phi_B) = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6} = \frac{\pi}{3}$

گزینه‌ی «۲» - ۵۶۳

با توجه به شکل، چون مکان نقطه‌های M و N قرینه و جهت حرکت آن‌ها مخالف هم‌اند (M رو به بالا و N رو به پایین حرکت می‌کند) بنابراین، نقطه‌های M و N دو نقطه‌ی متوالی در فاز مخالف‌اند، لذا،

## گزینه‌ی «۱» - ۵۷۰

با توجه به نمودار سؤال، ذره‌ی A در لحظه‌ی  $t = 0$  در انتهای مسیر بوده و به طرف مرکز نوسان در حرکت است. از طرف دیگر تعداد دفعاتی که شتاب ذره تغییر جهت می‌دهد برابر تعداد دفعاتی است که ذره از مرکز نوسان عبور می‌کند. بنابراین ابتدا  $\omega$  و سپس  $\Delta\phi$  را حساب می‌کنیم و به کمک آن تعداد دفعاتی که ذره از مرکز نوسان می‌گذرد را به دست می‌آوریم.



با توجه به شکل  $\frac{\lambda}{4} = 1 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$ . در این حالت می‌توان نوشت:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \quad \lambda = 0.04 \text{ m} \rightarrow \frac{2\pi}{0.04} = \frac{\omega}{2} \Rightarrow \omega = 100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Delta\phi = \omega \cdot \Delta t \xrightarrow{\Delta t = \frac{1}{8} \text{ s}} \Delta\phi = 100\pi \times \frac{1}{8}$$

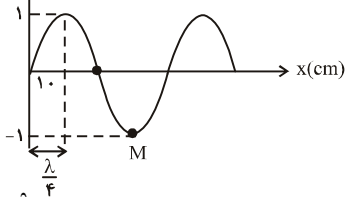
$$\Rightarrow \Delta\phi = \frac{5\pi}{4} \text{ rad}$$

اکنون اگر به دایره‌ی مرجع توجه کنید، در تغییر فاز از موقعیت (۱) به موقعیت (۲) که برابر  $\frac{5\pi}{4} \text{ rad}$  است، نوسانگر فقط یک بار از مرکز نوسان عبور می‌کند.

## گزینه‌ی «۴» - ۵۷۱

ابتدا معادله‌ی سرعت ذره‌ی M را به دست می‌آوریم و سپس سرعت در لحظه‌ی مورد نظر را حساب می‌کنیم. برای محاسبه‌ی معادله‌ی سرعت باید  $A$ ،  $\omega$  و  $\phi_0$  را به دست آوریم.

بنابراین با توجه به داده‌های روی شکل می‌توان نوشت:



$$\frac{\lambda}{4} = 1 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \lambda = 0.04 \text{ m}, v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow 0.04 = \frac{4}{f} \Rightarrow f = 10 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f \xrightarrow{f = 10 \text{ Hz}} \omega = 2\pi \times 10 = 20\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\sin \phi_0 = \frac{u_M}{A} \quad u_M = -1 \text{ cm}, A = 1 \text{ cm} \rightarrow$$

$$\sin \phi_0 = \frac{-1}{1} = -1 \Rightarrow \phi_0 = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$$

در نتیجه معادله‌ی سرعت برابر است با:

$$v_M = A\omega \cos(\omega t + \phi_0) \xrightarrow{A = 1 \text{ cm}, \omega = 20\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \phi_0 = \frac{3\pi}{2}} \rightarrow$$

$$\frac{\lambda}{4} = 1 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 4 \text{ cm} = 0.04 \text{ m}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \quad \lambda = 0.04 \text{ m} \rightarrow \frac{2\pi}{0.04} = \frac{\omega}{2} \Rightarrow \omega = 100\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Delta\phi = \omega \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{3\pi}{2} = 100\pi \times \Delta t \Rightarrow \Delta t = 0.03 \text{ s}$$

## گزینه‌ی «۴» - ۵۶۷

با توجه به نمودار ذره‌ی M در مکان مثبت بوده در حال جابه‌جایی به سمت بالا و ذره‌ی N در مکان منفی و در حال جابه‌جا شدن به سمت بالاست. از روی شکل  $\lambda$  و  $v$  معلوم‌اند، بنابراین داریم:

$$\lambda = 2 \text{ m}, v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \lambda = vT \rightarrow T = \frac{\lambda}{v} = \frac{2}{10} = 0.2 \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.2} = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

اکنون موقعیت M و N را در لحظه‌ی  $t = 0$  می‌یابیم، سپس بر اساس تغییر فاز در این  $\frac{1}{30}$  ثانیه موقعیت نهایی هر ذره را می‌یابیم.

$$\sin \phi_{1M} = \frac{y_M}{A} = \frac{1}{2} \rightarrow \phi_{1M} = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

$$\sin \phi_{1N} = \frac{y_N}{A} = \frac{-\sqrt{3}}{2} \rightarrow \phi_{1N} = -\frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

حال تغییر فاز را محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta\phi = \omega \Delta t \xrightarrow{\omega = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \Delta t = \frac{1}{30} \text{ s}} \Delta\phi = 10\pi \times \frac{1}{30} = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

حال فاز نهایی هر یک و در نتیجه موقعیت نهایی‌شان را می‌یابیم.

$$\phi_{2M} = \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{2} \rightarrow y_{2M} = A$$

$$\phi_{2N} = -\frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{3} = 0 \rightarrow y_{2N} = 0$$

## گزینه‌ی «۱» - ۵۶۸

با توجه به شکل، دو نقطه‌ی A و B در فاز مخالفند و از آنجایی که اختلاف فاز بین دو نقطه واقع بر موج همواره مقداری ثابت است، این دو نقطه در هر لحظه‌ی فرضی در فاز مخالفند، یعنی دارای شتاب‌های هم‌اندازه هستند، بنابراین در هر لحظه داریم:

$$\left| \frac{a_A}{a_B} \right| = 1$$

## گزینه‌ی «۴» - ۵۶۹

در حرکت نوسانی، ذره‌ای که از مبدأ نوسان و در جهت محور شروع

به حرکت می‌کند، پس از مدت  $\frac{3T}{4}$  از مبدأ تا مکان A- جابه‌جا

می‌شود و در نتیجه جابه‌جایی ذره در این مدت برابر  $\Delta x = -A - 0 = -A$  می‌باشد. در همین مدت موج به

اندازه‌ی  $\frac{3\lambda}{4}$  در محیط پیشروی می‌کند، به عبارت دیگر داریم:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t \xrightarrow{v = \frac{\lambda}{T}} \Delta x = \frac{\lambda}{T} \cdot \Delta t \xrightarrow{\Delta t = \frac{3T}{4}} \rightarrow$$

$$\Delta x = \frac{\lambda}{T} \times \frac{3T}{4} \Rightarrow \Delta x = \frac{3}{4} \lambda$$

$$v = 0.02 \times 4\pi \cos(4\pi t + \frac{2\pi}{3})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} t_1 = 0 \rightarrow v_1 = 0.08\pi \cos \frac{2\pi}{3} \Rightarrow \\ v_1 = 0.08\pi \times (-\frac{1}{2}) = -0.04\pi \frac{m}{s} \\ t_2 = \frac{1}{24} s \rightarrow v_2 = 0.08\pi \cos(4\pi \times \frac{1}{24} + \frac{2\pi}{3}) \\ \Rightarrow v_2 = 0.08\pi \times \frac{1}{2} = 0.04\pi \frac{m}{s} \end{cases}$$

دقت کنید:

$$\cos \frac{2\pi}{3} = \cos(2\pi + \frac{\pi}{3}) = \cos \frac{\pi}{3} = \frac{1}{2}$$

بنابراین بزرگی شتاب متوسط برابر است با:

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \quad v_1 = -0.04\pi \frac{m}{s}, v_2 = 0.04\pi \frac{m}{s}, \Delta t = \frac{1}{24} s$$

$$\bar{a} = \frac{0.04\pi + 0.04\pi}{\frac{1}{24}} \Rightarrow \bar{a} = 19/2\pi \frac{m}{s^2}$$

## -۵۷۴ گزینهی «۱»

با توجه به نقش موج داده شده،  $\lambda = 20 \text{ cm}$  می باشد، در نتیجه

$$\lambda = 0.2 \text{ m} \text{ است و طبق رابطه } \lambda = \frac{v}{f} \text{ می توان نوشت:}$$

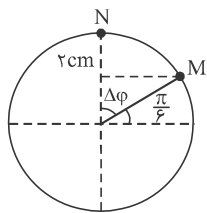
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{10}{0.2} = 25 \text{ Hz} \Rightarrow \omega = 2\pi f = 2\pi \times 25 = 50\pi \frac{\text{rad}}{s}$$

$$\sin \varphi_0 = \frac{y_A}{A} = \frac{1}{2} = \sin \frac{\pi}{6} \Rightarrow \varphi_{0,A} = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

با توجه به این که ذره A پس از گذشت  $\Delta t = \frac{1}{150} s$  به اندازه‌ی

$$\Delta \varphi = \omega \Delta t = 50\pi \times \frac{1}{150} = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

دایره‌ی مرجع رسم شده از نقطه‌ی M به نقطه‌ی N می‌رسد. بنابراین برای محاسبه‌ی جابه‌جایی ذره A در این بازه‌ی زمانی، می‌توان نوشت:



$$y_N = A = 2 \text{ cm}$$

$$\Delta y = y_N - y_M = 2 - 1$$

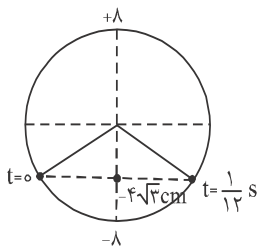
$$\Rightarrow \Delta y = 1 \text{ cm}$$

## -۵۷۵ گزینهی «۱»

در ابتدا با توجه به شکل، طول موج ( $\lambda$ ) را حساب می‌کنیم:

$$15 = \frac{3\lambda}{2}$$

$$\Rightarrow \lambda = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$



$$v_M = 1 \times 2\pi \cos(2\pi t + \frac{2\pi}{3})$$

و سرعت ذره‌ی M برابر است با:

$$t = 0.25 s \rightarrow v_M = 2\pi \cos(2\pi \times 0.25 + \frac{2\pi}{3})$$

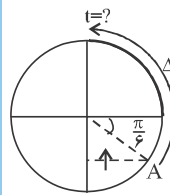
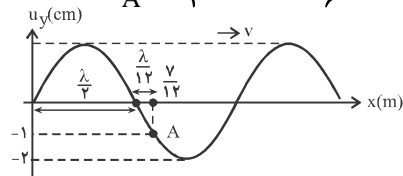
$$= 2\pi \cos 2\pi \xrightarrow{\cos 2\pi = 1} v_M = 2\pi \times 1$$

$$\Rightarrow v_M = 2\pi \frac{\text{cm}}{s}$$

## -۵۷۲ گزینهی «۱»

قبل از هر چیز می‌دانیم، هنگامی نوسانگر تغییر جهت می‌دهد که در انتهای مسیر نوسان قرار دارد ( $v = 0$ ). با توجه به موقعیت ذره‌ی A که دارای سرعت مثبت است، فاز اولیه‌ی آن و سپس تغییر فاز لازم تا لحظه‌ی تغییر جهت را محاسبه می‌کنیم:

$$\sin \varphi_A = \frac{u_A}{A} = \frac{-1}{2} \Rightarrow \varphi_A = \frac{11\pi}{6} \text{ rad}$$



$$\frac{v}{12} = \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{12} = \frac{7\lambda}{12} \Rightarrow \lambda = 1 \text{ m}$$

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \xrightarrow{v=5 \frac{m}{s}, \lambda=1 \text{ m}} \frac{\omega}{5} = \frac{2\pi}{1} \Rightarrow \omega = 10\pi \frac{\text{rad}}{s}$$

$$\Delta \varphi = \omega \Delta t \xrightarrow{\Delta \varphi = \frac{2\pi}{3} \text{ rad}, \omega = 10\pi} \frac{2\pi}{3} = 10\pi \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{1}{15} s$$

## -۵۷۳ گزینهی «۴»

برای محاسبه‌ی بزرگی شتاب متوسط، باید معادله‌ی سرعت ذره‌ی M را تعیین کنیم. به همین منظور ابتدا A،  $\omega$  و  $\varphi_0$  را حساب می‌کنیم.

$$\omega = 2\pi f \xrightarrow{f=20 \text{ Hz}} \omega = 2\pi \times 20 = 40\pi \frac{\text{rad}}{s}$$

$$\sin \varphi_0 = \frac{u_0}{A} \quad u_0 = \sqrt{3} \text{ cm}, A = 2 \text{ cm} \rightarrow \sin \varphi_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

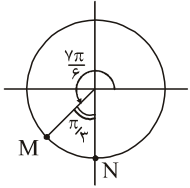
$$\Rightarrow \begin{cases} \varphi_0 = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \\ \varphi_0 = \frac{2\pi}{3} \text{ rad} \end{cases}$$

چون در لحظه‌ی  $t = 0$ ، نقطه‌ی M از مکان  $u_0 = \sqrt{3} \text{ cm}$  به طرف پایین حرکت کرده است،  $v < 0$  است، در نتیجه

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{3} \text{ rad} \text{ قابل قبول است. اکنون برای محاسبه‌ی معادله‌ی}$$

سرعت می‌توان نوشت:

$$v = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0) \xrightarrow{A=0.2 \text{ m}, \omega=40\pi \frac{\text{rad}}{s}, \varphi_0=\frac{2\pi}{3} \text{ rad}}$$



اکنون فاز اولیه‌ی ذره‌ی M را تعیین می‌کنیم و سپس تغییر فاز آن را در مدت  $\Delta t = \frac{1}{75}$  s حساب می‌کنیم.

$$\sin \varphi_M = \frac{y_M}{A} = \frac{-1}{2} \xrightarrow{v_M < 0, y_M < 0} \varphi_M = \frac{7\pi}{6} \text{ rad}$$

تغییر فاز M در مدت  $\frac{1}{75}$  ثانیه برابر است با:

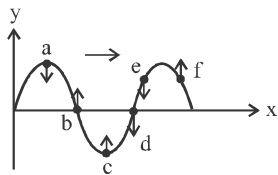
$$\Delta \varphi = \omega \Delta t = \frac{2\pi}{T} \Delta t = \frac{2\pi}{0.08} \times \frac{1}{75} = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

چون تغییر فاز ذره‌ی M برابر  $\frac{\pi}{3}$  رادیان است. بنابراین با این تغییر

فاز، ذره‌ی M از فاز  $\frac{7\pi}{6}$  رادیان به فاز  $\frac{3\pi}{2}$  رادیان می‌رسد. به عبارت دیگر ذره‌ی M به انتهای پایینی پاره‌خط نوسان، یعنی نقطه‌ی N می‌رسد. چون در نقطه‌ی N سرعت ذره صفر می‌شود، تا آن جا حرکت کندشونده دارد.

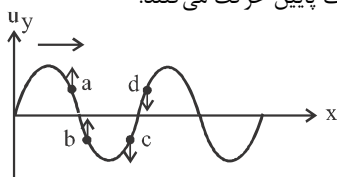
۵۷۸- گزینه‌ی «۲»

چون هر ذره تمایل دارد، وضعیت نوسانی ذره‌های ماقبل خود را تکرار کند، بنابراین ذره‌های b، c و f روبه بالا (یعنی +y) و ذره‌های a و d روبه پایین (یعنی -y) حرکت می‌کنند. از طرف دیگر طبق رابطه‌ی  $a = -\omega^2 y$ ، ذره‌های واقع در مرکز نوسان ( $y = 0$ )، شتابشان برابر صفر و سرعتشان بیشینه است. بنابراین شتاب نقطه‌های b و d برابر صفر و سرعتشان بیشینه است و جهت سرعت ذره‌ی d در جهت -y می‌باشد.



۵۷۹- گزینه‌ی «۲»

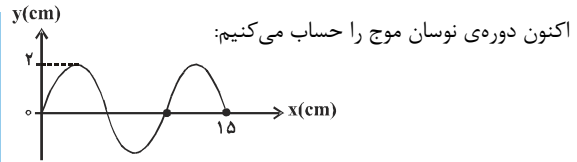
چون هر ذره تمایل دارد، وضعیت نوسانی ذره‌های ماقبل خود را تکرار کند، بنابراین با توجه به جهت انتشار موج، نقطه‌های a و b به طرف بالا و نقطه‌های c و d به طرف پایین حرکت می‌کنند.



دقت کنید چون ذره‌های ماقبل از ذره‌های a و b بالاتر از آنها واقع‌اند، این دو ذره روبه بالا حرکت می‌کنند. همچنین چون ذره‌های ماقبل از ذره‌های c و d پایین‌تر از آنها قرار دارند، این دو ذره روبه پایین حرکت می‌کنند.

۵۸۰- گزینه‌ی «۱»

ابتدا فاصله‌ی نقطه‌های B و C از نقطه‌ی A را بر حسب طول موج تعیین می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی  $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$ ، اختلاف فاز آن‌ها به دست می‌آوریم.



$$\lambda = vT \xrightarrow{\lambda = 0.1 \text{ m}, v = 1.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} 0.1 = 1.0 \cdot T \Rightarrow T = \frac{1}{100} \text{ s}$$

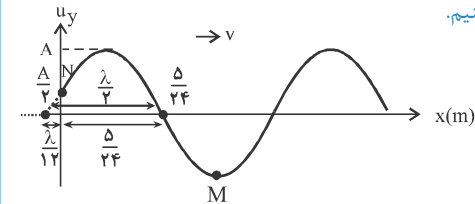
هم‌چنین تغییر فاز هر نقطه از محیط را در مدت  $\Delta t = \frac{1}{400}$  s، به صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$\Delta \varphi = \omega \Delta t \xrightarrow{\omega = \frac{2\pi}{T}, T = \frac{1}{100} \text{ s}} \Delta \varphi = \frac{2\pi}{1} \times \frac{1}{400} \Rightarrow \Delta \varphi = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

یعنی هر ذره در لحظه‌ی  $t = \frac{1}{400}$  s نسبت به شکل داده شده در لحظه‌ی  $t = 0$ ، به اندازه‌ی  $\frac{\pi}{2}$  رادیان تغییر فاز داشته است که با توجه به جهت سرعت ذره در مبدأ (سرعت ذره منفی است)، گزینه‌ی «۱» صحیح است.

۵۷۶- گزینه‌ی «۲»

در ابتدا با توجه به موقعیت ذره‌ی N، طول موج را محاسبه می‌کنیم و سپس با توجه به معلوم بودن سرعت انتشار موج، مقدار  $\omega$  را می‌یابیم و در نهایت، تغییر فاز ذره‌ی M را در بازه‌ی زمانی داده شده تعیین می‌کنیم.



$$\sin \varphi_N = \frac{u_N}{A} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow \varphi_N = \frac{5\pi}{6} \text{ rad}$$

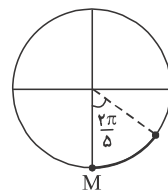
$$\frac{5}{24} = \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{12} = \frac{\Delta \lambda}{12} \Rightarrow \lambda = 0.5 \text{ m}$$

$$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \xrightarrow{v = 1.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \lambda = 0.5 \text{ m}} \frac{\omega}{1.0} = \frac{2\pi}{0.5}$$

$$\Rightarrow \omega = 4\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\Delta \varphi = \omega \Delta t \xrightarrow{\Delta t = \frac{1}{100} \text{ s}, \omega = 4\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}} \Delta \varphi = 4\pi \times \frac{1}{100}$$

$$\Rightarrow \Delta \varphi = \frac{2\pi}{5} \text{ rad}$$



در این مدت، با توجه به دایره‌ی مرجع مربوط به ذره‌ی M، نوسانگر به مرکز نوسان نزدیک می‌شود، در  $\Delta t = \frac{1}{100}$  s نتیجه حرکتی تندشونده دارد.

۵۷۷- گزینه‌ی «۱»

ابتدا با توجه به شکل طول موج و سپس دوره را حساب می‌کنیم.

$$\frac{\lambda}{2} = 0.4 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 0.8 \text{ m}, T = \frac{\lambda}{v} = \frac{0.8}{1.0} = 0.8 \text{ s}$$



$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ مقدار } \lambda \text{ را به دست می‌آوریم:}$$

$$u = 0.04 \sin[2\pi(\Delta x - \Delta t)] = 0.04 \sin(10\pi x - 100\pi t)$$

$$\Rightarrow k = 10\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$k = 10\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 0.2 \text{ m}$$

$$\Rightarrow x = \frac{\lambda}{2} = \frac{0.2}{2} = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

#### گزینه ۱ - ۵۸۶

می‌دانیم فاصله‌ی گره‌ها از یکدیگر یا از انتهای ثابت، مضرب صحیحی

از  $\frac{\lambda}{2}$  است. بنابراین با محاسبه‌ی  $\lambda$  که از روی عدد موج به دست

می‌آید، فاصله‌ی گره‌ها از انتهای ثابت را به دست می‌آوریم:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \xrightarrow{k=10\pi \frac{\text{rad}}{\text{m}}} 10\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = 0.2 \text{ m}$$

$$x = n \left(\frac{\lambda}{2}\right) \xrightarrow{\lambda=0.2 \text{ m}} x = n \times \frac{0.2}{2} \Rightarrow x = 0.1 \text{ n}$$

#### گزینه ۳ - ۵۸۷

از ۲۰۰ نوسان در هر ثانیه می‌توان نتیجه گرفت:  $f = 200 \text{ Hz}$



در صوت اصلی:  $n=1 \rightarrow L = \frac{\lambda}{4}$

$$L = \frac{n\lambda}{4} \xrightarrow{n=1, L=0.1 \text{ m}} \frac{\lambda}{4} = 0.1 \text{ m}$$

$$\rightarrow \lambda = 0.4 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow 0.4 = \frac{v}{200} \rightarrow v = 80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### گزینه ۳ - ۵۸۸

در طناب دو سر بسته  $n$  برابر تعداد شکم است، بنابراین می‌توان نوشت:

$$f = \frac{nv}{2L} \quad n=2, v=240 \frac{\text{m}}{\text{s}}, L=0.6 \text{ m}$$

$$f = \frac{2 \times 240}{2 \times 0.6 \times 10^{-1}} = 400 \text{ Hz}$$

#### گزینه ۲ - ۵۸۹

در تارهای دوسر بسته،  $n$  از تعداد گره‌ها یکی کم‌تر است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$f = \frac{nv}{2l} \quad f=400 \text{ Hz}, n=5-1=4 \rightarrow 400 = \frac{4v}{2 \times 0.4}$$

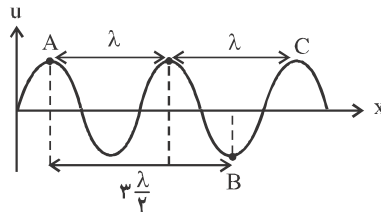
$$\Rightarrow v = 80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### گزینه ۳ - ۵۹۰

در تار مرتعش، تعداد گره‌ها یک واحد بیش‌تر از شماره‌ی هماهنگ ایجاد شده است.

$$\rightarrow \text{شماره‌ی هماهنگ} = 3 + 1 = 4 = \text{تعداد گره}$$

$$\rightarrow \text{تعداد گره} = 3 + 1 = 4$$



$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \Delta x_{AB} = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta\phi_{AB} = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta\phi_{AB} = \pi \text{ rad} \\ \Delta x_{AC} = \lambda \Rightarrow \Delta\phi_{AC} = \frac{2\pi}{\lambda} \times \lambda \Rightarrow \Delta\phi_{AC} = 2\pi \text{ rad} \end{cases}$$

#### گزینه ۴ - ۵۸۱

با توجه به شکل  $\lambda_A = 2 \text{ m}$  و  $\lambda_B = 1 \text{ m}$  است. بنابراین با توجه

به این که دامنه‌ی موج‌ها  $A_A = 0.5 \text{ m}$  و  $A_B = 0.25 \text{ m}$  است، با استفاده از رابطه‌ی  $v_m = A\omega$  می‌توان نوشت:

$$\frac{v_{m,B}}{v_{m,A}} = \frac{A_B}{A_A} \times \frac{\omega_B}{\omega_A} \quad \omega = 2\pi f \rightarrow$$

$$\frac{v_{m,B}}{v_{m,A}} = \frac{A_B}{A_A} \times \frac{f_B}{f_A} \quad f = \frac{v}{\lambda} \rightarrow \frac{v_{m,B}}{v_{m,A}} = \frac{A_B}{A_A} \times \frac{\lambda_A}{\lambda_B} \times \frac{v_B}{v_A}$$

$$\lambda_A = 2 \text{ m}, \lambda_B = 1 \text{ m}, v_A = v_B = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow$$

$$\frac{v_{m,B}}{v_{m,A}} = \frac{0.25}{0.5} \times \frac{2}{1} \times 1 \Rightarrow \frac{v_{m,B}}{v_{m,A}} = 1$$

#### گزینه ۴ - ۵۸۲

در انتهای بسته اختلاف فاز نوسانی بین موج فرودی و بازتاب شده برابر  $\pi$  رادیان می‌باشد. به همین دلیل موج بازتاب شده، قرینه‌ی موج فرودی است. توجه کنید که موج پیش‌تاز (در این جا برجستگی کوچک)، پیش‌تازی خود را در برگشت حفظ می‌کند.

#### گزینه ۱ - ۵۸۳

در موج‌های ایستاده‌ای که در یک بُعد تشکیل می‌شوند، تمام نقاط با بسامد یکسان نوسان می‌کنند و نقطه‌های بین دو گره‌ی متوالی با هم، هم‌فازند، اما چون دامنه‌ی آن‌ها متفاوت است، در لحظه‌ی عبور از وضع تعادل، سرعت آن‌ها که برابر با بیشینه‌ی سرعت نوسانگر است، طبق رابطه‌ی  $v_{\max} = A\omega$  با هم برابر نمی‌شود.

#### گزینه ۴ - ۵۸۴

همه‌ی نقطه‌های بین دو گره متوالی هم‌فاز و هم بسامدند اما دامنه‌ی آن‌ها با هم یکسان نیست. بنابراین گزینه‌های «۱»، «۲» و «۳» نادرست است. دقت کنید چون دامنه‌ی ذره‌ی A بزرگ‌تر از دامنه‌ی ذره‌ی M و  $\omega_A = \omega_M$  می‌باشد، طبق رابطه‌ی  $v_{\max} = A\omega$ ، بیشینه‌ی سرعت ذره‌ی A بیش‌تر از بیشینه‌ی سرعت ذره‌ی M می‌باشد.

#### گزینه ۱ - ۵۸۵

می‌دانیم فاصله‌ی بین دو گره‌ی متوالی برابر  $\frac{\lambda}{2}$  می‌باشد، بنابراین ابتدا از روی تابع موج عدد موج را تعیین می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی

## گزینه‌ی «۳» - ۵۹۴

با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  و رابطه‌ی  $f = \frac{nv}{2L}$  می‌توان نوشت:

$$f = \frac{nv}{2L} \xrightarrow{v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}} f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \begin{matrix} n=2, F=100\text{N} \\ L=1\text{m}, \mu = \frac{m}{L} = \frac{0.1\text{kg}}{1\text{m}} \end{matrix}$$

$$f = \frac{2}{2 \times 1} \sqrt{\frac{100}{0.1}} = 100\text{Hz}$$

## گزینه‌ی «۴» - ۵۹۵

چون  $n$  و  $f$  و  $L$  معلوم‌اند، ابتدا با استفاده از رابطه‌ی  $f_n = \frac{nv}{2L}$  سرعت انتشار موج را حساب می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$  نیروی کشش سیم را به دست می‌آوریم.

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad \begin{matrix} n=2, f=900\text{Hz}, L=0.2\text{m} \\ \text{تعداد گره } -1=2-1=1 \end{matrix}$$

$$900 = \frac{1 \times v}{2 \times 0.2} \Rightarrow v = 360 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \quad \begin{matrix} m=8 \times 10^{-4}\text{kg}, L=0.2\text{m}, v=360 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{matrix}$$

$$360 = \sqrt{\frac{F \times 0.2}{8 \times 10^{-4}}} \Rightarrow F = 518.4\text{N}$$

## گزینه‌ی «۲» - ۵۹۶

چون  $L$  و  $f_1$  معلوم است، ابتدا از رابطه‌ی  $f = \frac{nv}{2L}$  سرعت انتشار موج در تار را حساب می‌کنیم و سپس از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$  نیروی کشش تار را به دست می‌آوریم. دقت کنید برای بسامد صوت اصلی  $n=1$  است.

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad \begin{matrix} f_1=150\text{Hz}, n=1, L=0.4\text{m} \end{matrix} \rightarrow 150 = \frac{1 \times v}{2 \times 0.4}$$

$$\Rightarrow v = 120 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \quad \begin{matrix} m=20\text{mg} = 20 \times 10^{-6}\text{kg}, L=1\text{cm} = 10^{-2}\text{m} \end{matrix}$$

$$120 = \sqrt{\frac{F \times 10^{-2}}{20 \times 10^{-6}}}$$

$$14400 = \frac{F}{2 \times 10^{-3}} \Rightarrow F = 28.8\text{N}$$

توجه: می‌توانیم از ترکیب رابطه‌های  $f = \frac{nv}{2L}$  و  $v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$  رابطه‌ی

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{FL}{m}}$$

را به دست آوریم و سپس از این رابطه  $F$  را حساب کنیم.

از طرف دیگر می‌دانیم که فاصله‌ی بین دو گره‌ی متوالی برابر  $\frac{\lambda}{2}$  است؛ لذا داریم:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \begin{matrix} l=60\text{cm} \\ n=3 \end{matrix} \rightarrow 60 = 3 \left( \frac{\lambda}{2} \right) \Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 20\text{cm}$$

## گزینه‌ی «۳» - ۵۹۱

چون  $f_1$  و  $L$  معلوم است، ابتدا از رابطه‌ی  $f_n = \frac{nv}{2L}$  سرعت انتشار موج در تار را حساب می‌کنیم و سپس با استفاده از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  نیروی کشش تار را حساب می‌کنیم.

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad \begin{matrix} n=1, f_1=200\text{Hz}, L=0.5\text{m} \end{matrix} \rightarrow 200 = \frac{1 \times v}{2 \times 0.5}$$

$$\Rightarrow v = 200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \begin{matrix} \mu = 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \end{matrix} \rightarrow 200 = \sqrt{\frac{F}{0.005}}$$

$$\Rightarrow 40000 = \frac{F}{0.005} \Rightarrow F = 200\text{N}$$

## گزینه‌ی «۱» - ۵۹۲

بسامد هماهنگ  $n$ ام تار مرتعش از رابطه‌ی  $f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  به دست می‌آید که در آن  $n$  شماره‌ی هماهنگ،  $l$  طول،  $\mu$  جرم واحد طول و  $F$  نیروی کشش تار است بنابراین داریم:

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{\mu = \frac{m}{l}} f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{Fl}{m}}$$

$$\xrightarrow{\begin{matrix} n=3, l=1\text{m} \\ F=100\text{N}, m=0.1\text{kg} \end{matrix}} f_n = \frac{3}{2 \times 1} \sqrt{\frac{100 \times 1}{0.1}}$$

$$= \frac{3}{2} \times 100 = 150\text{Hz}$$

## گزینه‌ی «۴» - ۵۹۳

با استفاده از رابطه‌های  $f = \frac{nv}{2L}$  و  $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  برای تارهای مرتعش می‌توان نوشت:

$$f_n = \frac{nv}{2L} \xrightarrow{v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}} f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

در این‌جا:

$$\mu = \frac{m}{l} \quad \begin{matrix} m=6 \times 10^{-3}\text{kg}, l=8 \times 10^{-1}\text{m} \end{matrix} \rightarrow \mu = \frac{6 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-1}} = \frac{3}{4} \times 10^{-2}$$

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \begin{matrix} n=1, l=0.8\text{m}, F=432\text{N} \end{matrix}$$

$$f_n = \frac{1}{2(0.8)} \sqrt{\frac{432 \times 4}{3 \times 10^{-2}}}$$

$$= \frac{10}{16} \times 12 \times 2 \times 10 = 150\text{Hz}$$

$$\begin{cases} f = \frac{nv}{2L} \\ v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \end{cases} \Rightarrow f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{n=n'=1} \frac{f'}{f} = \frac{L}{L'} \times \sqrt{\frac{\mu}{\mu'}}$$

$$\frac{\mu'=2\mu}{L=2L'} \rightarrow \frac{f'}{f} = 2 \times \sqrt{\frac{1}{2}} = \sqrt{2}$$

## ۶۰۱- گزینهی «۴»

ابتدا طول موج را به صورت زیر حساب می‌کنیم.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \xrightarrow{v=5\frac{m}{s}, \omega=40\pi} \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{40\pi}{5} \Rightarrow \lambda = 25\text{cm}$$

اکنون اختلاف راه دو موج را بر حسب  $\lambda$  حساب می‌کنیم.

$$\delta = d_2 - d_1 \xrightarrow{d_2=50\text{cm}, d_1=12.5\text{cm}} \delta = 50 - 12.5 \Rightarrow \delta = 37.5\text{cm}$$

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{37.5}{25} \Rightarrow \frac{\delta}{\lambda} = \frac{3}{2} \Rightarrow \delta = \frac{3}{2}\lambda$$

چون اختلاف راه دو موج مضرب فرد  $\frac{3}{2}\lambda$  است، بر هم نهی دو موج ویرانگر است.

## ۶۰۲- گزینهی «۳» درصد پاسخ درست (۴۹٪)

چون در محل انتهای ثابت طناب، دو موج تابش و بازتاب در فاز مخالف به هم می‌رسند، در این نقطه بر هم نهی دو موج ویرانگر است. اما در محل انتهای آزاد دو موج تابش و بازتاب، هم فاز به هم می‌رسند لذا در این نقطه بر هم نهی دو موج سازنده است. در ضمن در انتهای آزاد جابه‌جایی هر ذره از وضع تعادلش دو برابر دامنه‌ی هر یک از موج‌های تابش و بازتاب خواهد شد.

## ۶۰۳- گزینهی «۲»

می‌دانیم انرژی موج برابر  $E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$  است. از طرف دیگر

$$\mu = \frac{m}{L} \text{ می‌باشد. بنابراین انرژی موج در یک طول موج آن } \mu = \lambda$$

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \xrightarrow{m=\mu L, \omega=2\pi f} \mu L \times 4\pi^2 f^2 A^2 \xrightarrow{L=\lambda, f=\frac{v}{\lambda}} \mu \lambda \times 4\pi^2 f \times \frac{v}{\lambda} A^2 \Rightarrow E = 2\mu\pi^2 v f A^2$$

$$\mu=0.2\text{kg}, A=0.05\text{m}, f=4\text{Hz}, v=20\frac{m}{s}$$

$$E = 2 \times 0.2 \times 10 \times 20 \times 4 \times 25 \times 10^{-4} \Rightarrow E = 0.8\text{J}$$

## ۶۰۴- گزینهی «۳» درصد پاسخ درست (۱۴٪)

با توجه به شکل سؤال، طول موج برابر  $\lambda = 0.5\text{m}$  و دامنه‌ی موج برابر  $A = 0.2\text{m}$  است. بنابراین با محاسبه‌ی بسامد موج و استفاده از رابطه‌ی مقدار متوسط توان انتقال انرژی در مدت یک دوره، می‌توان نوشت:

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{\lambda=0.5\text{m}, v=5\frac{m}{s}} 0.5 = \frac{5}{f} \Rightarrow f = 10\text{Hz}$$

## ۵۹۷- گزینهی «۱»

در ابتدا سرعت انتشار موج در تار را محاسبه می‌کنیم:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{m}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \rightarrow v = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$$

$$\frac{D=10^{-2}\text{m}}{\rho=4 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \rightarrow v = \frac{2}{10^{-2}} \sqrt{\frac{30}{4 \times 10^3}} \rightarrow v = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

و برای محاسبه‌ی بسامد اصلی تار داریم:

$$f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{100}{2 \times 0.4} \Rightarrow f_1 = 125\text{Hz}$$

## ۵۹۸- گزینهی «۳»

ابتدا از رابطه‌ی  $f = \frac{nv}{2L}$  سرعت انتشار موج عرضی در تار را حساب می‌کنیم. دقت کنید چون در طول تار ۴ گره تشکیل شده است،  $n = 4 - 1 = 3$  است.

$$f = \frac{nv}{2L} \xrightarrow{f=150\text{Hz}, n=3, L=0.6\text{m}} 150 = \frac{3v}{2 \times 0.6}$$

$$\Rightarrow v = 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

اکنون از رابطه‌ی  $v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$  نیروی کشش تار را که برابر وزن جسم آویخته شده به انتهای تار است به دست می‌آوریم و سپس جرم آن را حساب می‌کنیم.

$$v = \sqrt{\frac{FL}{m}} \xrightarrow{m=0.02\text{kg}, L=0.6\text{m}, v=60\frac{m}{s}, F=Mg}$$

$$60 = \sqrt{\frac{M \times 10 \times 0.6}{0.02}} \Rightarrow 3600 = \frac{6M}{0.02}$$

$$\Rightarrow M = 1/2\text{kg} \Rightarrow M = 1200\text{g}$$

## ۵۹۹- گزینهی «۲»

بسامد تار مرتعش از رابطه‌ی  $f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$  به دست می‌آید که در آن  $n$  تعداد شکم،  $F$  نیروی کشش و  $\mu$  جرم واحد طول و  $L$  طول تار است.

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2}{n_1} \sqrt{\frac{F_2}{F_1}} \xrightarrow{n_1=1, F_2=4F_1} \frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2}{1} \sqrt{\frac{4F_1}{F_1}} \xrightarrow{f_2=8f_1} 8 = n_2 \sqrt{4}$$

$$\frac{8f_1}{f_1} = \frac{n_2}{1} \times \sqrt{\frac{4F_1}{F_1}} \rightarrow 8 = n_2 \sqrt{4}$$

$$\rightarrow 8 = 2n_2 \rightarrow n_2 = 4$$

## ۶۰۰- گزینهی «۳»

وقتی یک سیم را دولا می‌کنیم، جرم آن ثابت می‌ماند. اما طبق

رابطه‌ی  $\mu = \frac{m}{L}$  با نصف شدن طول سیم، جرم واحد طول آن ۲ برابر می‌شود. با توجه به این که نیروی کششی ثابت مانده، بسامد صوت اصلی هر دو تار را با هم مقایسه می‌کنیم.

