موج:

انتشار آشفتگی در یک محیط را موج می‌نامیم. موج در حین انتشار با خود انرژی حمل می‌کند موج شامل یک حرکت نوسانی است که حرکت انتقالی هم دارد.

در مورد یک ریسمان این نوسان در طول ریسمان پیش می‌رود و نقطه‌های روی ریسمان یکی پس از دیگری به نوسان در می‌آیند. دوره و بسامد نوسان همه این نقاط با هم برابرند ولی فاز آن‌ها در هر لحظه با هم یکی نیست. دو نوع موج مکانیکی و الکترومغناطیسی بررسی می شود.

موج مکانیکی:

موجی است که برای انتشار آن یک محیط مادی و کشسان این موج در خلا منتشر نمی‌شود مانند موج‌های آب، زلزله و صورت (این امواج به الکترون‌ها، پروتون‌ها و ذرات بنیادی دیگر و حتی به اتم‌ها و ملکول‌ها وابسته‌اند)

خاصیت موج های مکانیکی:

الف) حامل انرژی هستند.

ب) اجزا محیط در اطراف وضع تعادل خود نوسان یا ارتعاش می‌کنند ولی همراه موج منتقل نمی‌شوند.

ج) در حین انتشار موج ذره‌های محیط با یک بسامد ارتعاش می‌کنند ولی این ارتعاش‌ها در جهت انتشار موج دارای تأخیر زمانی هستند. (هر نقطه حرکت نقطه‌ی قبل خود در همان موقعیت مکانی را تکرا می‌کند)

نقطه‌هایی که همواره در حین انتشار موج جابه‌جایی یکسان دارند هم فار می‌نامند.

محیط کشسان:

محیطی است که اگر در آن تغییر شکلی اجاد شود نیرویی بین ذره‌های محیط ایجاد شده (نیروی کشسانی) و محیط را به شکل اولیه‌اش باز می‌گرداند مانند بیش‌تر جامدات، مایعات و گازها

انتشار موج:

با انتقال موج در محیط انتشار ذرات محیط همراه با موج منتقل نمی‌شوند بلکه فقط نقش موج ایجاد شده در محیط منتقل می‌شود

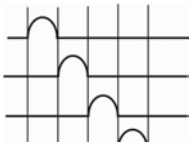
انتقال موج معادل با انتقال تأخیری حرکت نوسانی از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر است.

چشمه موج:

عاملی است که بتواند در محیط کشسان تغییر شکل ایجاد کند. اگر عاملی که موج را تولید می‌کند یک نوسانگر با بسامد و دامنه ثابت باشد در نتیجه یک حرکت هماهنگ ساده ایجاد می‌شود این عامل را چشمه موج سینوسی می‌نامند.

تپ موج:

اگر در یک محیط ارتعاشی یک آشفتگی ایجاد کنیم به علت نیروی برگرداننده آشفتگی ذره به ذره در محیط جابجا شده و پیش می‌رود. آشفتگی ایجاد شده تپ نامیده می‌شود.



قطار موج:

تپ‌های متوالی موج را قطار موج می‌نامند.

جبهه موج:

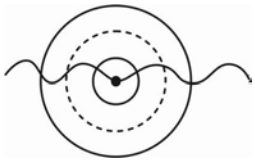
جبهه موج مکان هندسی نقاطی است که موج به طور هم‌زمان به آن‌ها می‌رسد.

در موج در فضای سه بعدی مانند انتشار صورت یا نور در هوا جبهه‌های موج به صورت یک سطح است که اگر چشمه موج به صورت یک نقطه و محیط یکنواخت باشد جبهه‌های موج هم‌فاز و متوالی و به صورت سطح کروی هم مرکز خواهند بود که از یک‌دیگر به اندازه یک طول موج فاصله دارند.

دایره‌هایی که به صورت خط توپر رسم شده‌اند مکان هندسی نقاطی هستند که همگی قله‌ی موج می‌باشند (برآمدگی موج‌ها)

دایره‌هایی که به صورت خط‌چین رسم شده‌اند

مکان هندسی نقاطی هستند که همگی دوره‌ی موج می‌باشند (فرو رفتگی موج‌ها)
اگر جبهه موج به صورت یک صفحه باشد به آن موج تخت می‌گویند.



موج سینوسی:

تپ‌های متوالی ایجاد شده در محیط انتشار که با فاصله‌ی زمانی برابر دنبال هم حرکت می‌کنند موج سینوسی نامیده می‌شوند.

بسامد موج:

وقتی یک چشمه‌ی موج سینوسی با بسامد معینی شروع به نوسان می‌کند کلیه ذرات مجاور خود را نیز با همان بسامد به نوسان در می‌آورد به طوری که بسامد کلیه نقاط موج با بسامد منبع برابر است پس می‌توان گفت بسامد موج از خصوصیات منبع تولید موج است و با تغییر محیط تغییری در آن ایجاد نمی‌شود.

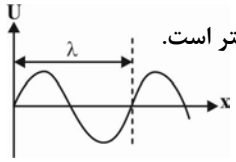
توجه:

هر موج دو قمست عمده دارد:

۱- ارتعاش که وابسته به شرایط منبع است و کمیت‌هایی مانند دوره- بسامد- فاز- دامنه- بعد و ..... را مشخص می‌کند.

۲- انتشار که وابسته به شرایط محیط است و کمیت‌های طول موج و سرعت را مشخص می‌کند.

طول موج:



مسافتی است که موج در مدت یک دوره تناوب طی می‌کند و آن را با t_1 نمایش می‌دهیم و واحد آن متر است.

اگر موج با سرعت V حرکت کند داریم: $\lambda = VT$

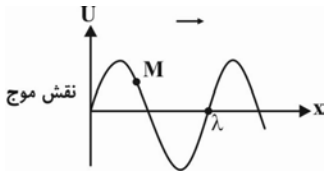
البته می‌توان طول موج را به این صورت هم تعریف کرد: طول موج فاصله دو نقطه متوالی از موج است که دارای وضعیت ارتعاشی یکسان باشند.

سرعت انتشار موج

امواج به طور آنی منتشر نمی‌شوند یعنی انتشار امواج از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر مدتی طول می‌کشد و جنس محیط انتشار این مدت را تعیین می‌کند یعنی سرعت انتشار موج که همان سرعت پیش روی موج است مقداری ثابت است و به شرایط فیزیکی محیط انتشار از قبیل جنس محیط، دمای محیط چگالی محیط و .... بستگی دارد.

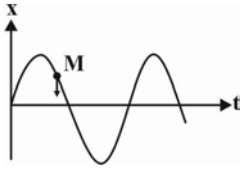
سرعت انتشار موج به شکل دامنه موج بستگی ندارد.

بررسی نقش موج:



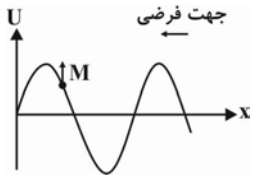
معادله موج به صورت $U = A\sin(\omega t \pm kx)$ می‌باشد و نقش موج (نمودار بعد- مسافت) آن به صورت مقابل است.

نقطه‌ی مانند M روی این نقش مشخص شده است اگر نمودار حرکت نوسانی داشتیم و نقطه‌ای مانند M با همین وضعیت روی آن در نظر می‌گرفتیم (مانند شکل زیر)



در این صورت می‌گفتیم نقطه‌ی M واقع در ربع دوم دایره بود و به مبدأ نزدیک می‌شود.برای موج ما می‌دانیم هر نقطه حرکت نقطه‌ی قبل خود در همان موقعیت مکانی را تکرار می‌کند.

پس برای بررسی حرکت نقطه‌ی M روی نقش موج یا باید خطی موازی محور افقی رسم کنیم تا نقش موج را در قبل از M قطع کند و حرکت آن نقطه را بررسی نماییم یا روش بهتر است که جهت حرکت موج را برعکس در نظر بگیریم یعنی پس نقطه‌ی M بالای محور و در حال دور شدن از مبدا است یعنی ناحیه‌ی اول

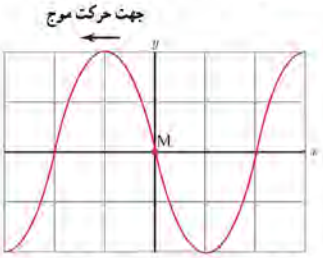


۱۳. شکل زیر یک تصویر لحظه‌ای از موجی عرضی در یک ریسمان کشیده شده را نشان می‌دهد. موج به سمت چپ حرکت می‌کند.

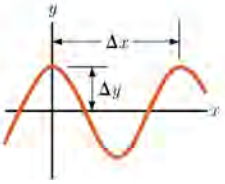
الف) با رسم این موج در زمان $T/4$ بعد، نشان دهید جزء M ریسمان در این مدت در چه جهتی حرکت کرده است. همچنین روی این موج، دامنهٔ موج و طول‌موج را نشان دهید.

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

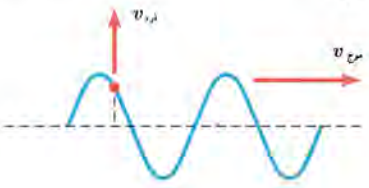
پ) تعیین کنید موج در مدت $T/4$ چه مسافتی را پیموده است؟



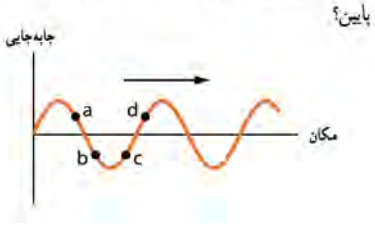
۱۴. در نمودار جابه‌جایی ـ مکانِ موج عرضی شکل زیر $\Delta x=۴۰/۰\text{cm}$ و $\Delta y=۱۵/۰\text{cm}$ است. اگر بسامد نوسان‌های چشمه ۸/۰۰Hz باشد، طول‌موج، دامنه، تندی و دورهٔ تناوب موج چقدر است؟



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



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

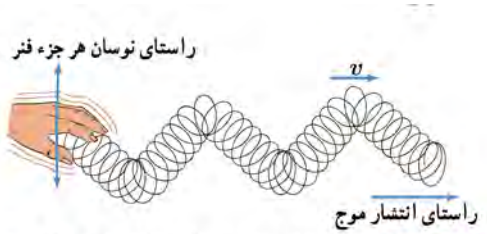


انواع موج:

موج عرضی:

موجی است که در آن راستای ارتعاش امواج و انتشار امواج بر هم عمود هستند یعنی:

مانند نور- امواج الکترومغناطیس و یا موج تشکیل شده روی آب.
به عنوان مثال با ایجاد یک موج روی آب ذرات آب و یا برگ روی آب به طرف بالا و پایین حرکت می‌کند. ولی موج به طرف چپ و یا راست حرکت می‌کند.
امواج عرضی برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند. موج عرضی را می‌توان با قله‌ها و دره‌های آن تشخیص داد. هر چه محیط غلیظ‌تر باشد سرعت انتشار امواج عرضی در آن کم‌تر خواهد بود.



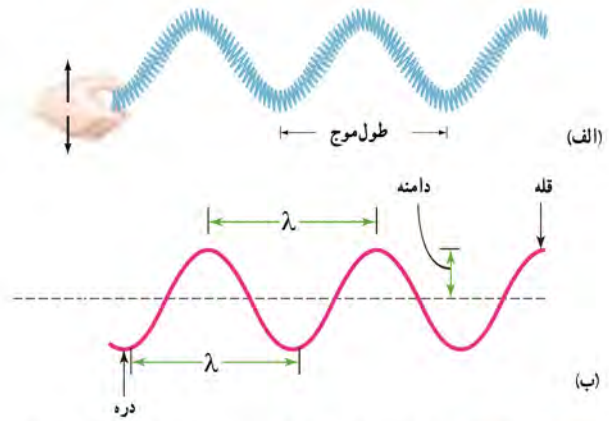
شکل ۳ـ۱۲ در حالی که موج به سمت راست منتشر می‌شود هر جزء فنر عمود بر راستای انتشار موج، به بالا و پایین نوسان می‌کند.

سرعت انتشار امواج عرض (در تار یا طناب):

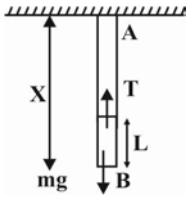
سرعت انتشار امواج عرضی در یک تار به جرم m و طول L از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در این رابطه $\mu = \frac{M}{L}$ جرم واحد طول تار و F نیروی کشش تار است:

$$\begin{cases} V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow \sqrt{\frac{FL}{m}} \rightarrow V = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \\ \mu = \frac{m}{l} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu = \rho.A = \pi r^2 \rho = \pi \frac{D^2}{4} \rho \\ V = \frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\pi\rho}} \end{cases}$$



شکل ۳ـ۱۸ الف) یک موج عرضی در فنر کشیده شده و ب) مدل سینوسی برای این موج



در یک تار با قطر ثابت سرعت انتشار به طور تار بستگی ندارد.
در روابط فوق A سطح مقطع، r شعاع مقطع، D قطر مقطع تار و ρ چگالی آن است. اگر طناب از سقف آویزان باشد سرعت انتشار امواج عرضی در آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$T - mg = 0 \rightarrow T = mg$$

$$V = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{mg}{\mu}} = \sqrt{\frac{mLg}{\mu}} = \sqrt{Lg}$$

ملاحظه می‌شود هر چه به محل اتصال (نقط A) نزدیک‌تر شویم چون طول L بیش‌تر می‌شود سرعت انتشار و در نتیجه طول موج بیش‌تر می‌شود.

$$\begin{cases} V_A > V_B \\ \lambda_A > \lambda_B \end{cases}$$

تمرین ۳ـ۴

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

۱۶. یک نوسان‌ساز موج‌هایی دوره‌ای در یک ریسمان کشیده ایجاد می‌کند.
الف) با افزایش بسامد نوسان‌ساز کدام‌یک از کمیت‌های زیر تغییر نمی‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موج موج.
ب) حال اگر به جای افزایش بسامد، کشش ریسمان را افزایش دهیم، هر یک از کمیت‌های زیر چه تغییری می‌کند؟ بسامد موج، تندی موج، طول‌موج موج.

۱۷. سیمی با چگالی $7/80\,g/cm^3$ و سطح مقطع $0/50\,mm^2$ بین دو نقطه با نیروی ۱۵۶ N کشیده شده است. تندی انتشار موج عرضی را در این سیم محاسبه کنید.

موج الکترومغناطیس:

بار الکتریکی ساکن در اطراف خود میدان الکتریکی ایجاد می‌کند در اطراف بار الکتریکی متحرک علاوه بر میدان الکتریکی- مغناطیسی هم به وجود می‌آید طبق قانون القای فارادی تغییرات میدان مغناطیسی جریان الکتریکی به وجود می‌آورد و طبق نظریه الکترومغناطیسی ماکسول پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی از یک‌دیگر جدا نیستند و متغیر بودن یکی در فضا باعث ایجاد دیگری می‌شود. موج‌های الکترومغناطیس در اثر شتاب گرفتن ذره‌های باردار تابش می‌شوند و برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند. این موج‌ها از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی که بر یک‌دیگر و بر جهت انتشار عمودند تشکیل شده است. در این موج‌ها میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در هر نقطه فضا به طور نوسانی تغییر می‌کنند. در امواج الکترومغناطیس در نقاط هم فاز میدان‌های الکتریکی در تمام لحظات یکسان هستند.

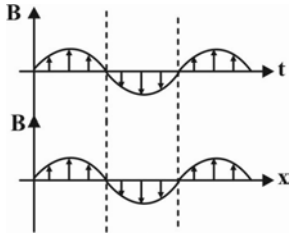
در موج‌های الکتریکی ذره‌های تشکیل دهنده محیط نوسان می‌کنند اما در موج‌های الکترومغناطیس میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در هر نقطه فضا به طور نوسانی تغییر می‌کنند (انرژی را از محلی به محل دیگر منتقل می‌کنند بدون آن‌که ماده را انتقال دهند)

همه موج‌های الکترمغناطیسی در خلا سرعت انتشار یکسانی دارند و چون نور از موج‌های الکترومغناطیسی است سرعت همه این موج‌ها در خلا سرعت نور است. این امواج عرض هستند.

امواج الکترومغناطیس در محیط مادی اثر می‌گذارند و امکان جذب انرژی آن‌ها در این محیط‌ها وجود دارد. نور، امواج رادیویی، امواج فروسرخ، امواج فرابنفش، اشعه‌ی ایکس و امواج گاما، امواج الکترومغناطیس هستند.

برای تعیین جهت انتشار و امواج الکترومغناطیس از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌شود به طوری که انگشتان دست راست در جهت میدان الکتریکی باشد کف دست در جهت میدان مغناطیسی و انگشت شصت در جهت انتشار موج الکترومغناطیس خواهد بود.

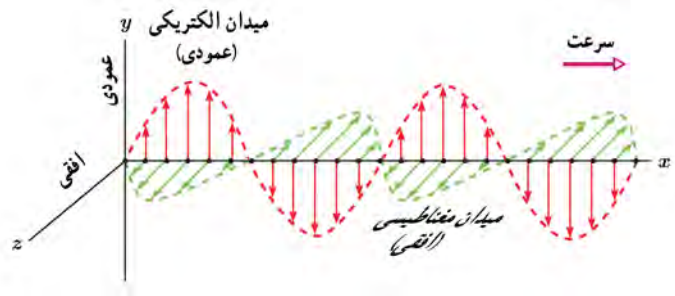
امواج الکترومغناطیس از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی متناوب و متعامد که هم‌فاز (در خلآ) و هم دوره هستند تشکیل شده‌اند.منظور از میدان مغناطیسی متناوب میدانی مغناطیسی است که اندازه و جهت آن به صورت متناوب تغییر می‌کند. یعنی هنگامی که موج مغناطیسی متناوب در محیطی منتشر می‌گردد، در هر نقطه در زمان‌های مختلف با تغییرات سینوسی بردار میدان روبه‌رو هستیم و البته اگر وضعیت میدان را برای همه‌ی نقاط و در یک لحظه رسم نماییم، باز هم با نموداری سینوسی روبه‌رو خواهیم شد:



میدان‌الکتریکی متناوب نیز ویژگی‌هایی شبیه به میدان مغناطیسی متناوب دارد.

هر دو این میدان‌ها وضعیت ارتعاشی یکسان دارند (یعنی هم فازند) و هم بسامدند.

پس اگر هر دو هم‌زمان به یک ذره اثر کنند و این دو میدان بر هم عمود باشند در این صورت با یک موج الکترومغناطیس روبه‌رو هستیم.



شکل ۳ــ۲۰ یک تصویر لحظه‌ای از موجی الکترومغناطیسی که میدان الکتریکی در امتداد قائم (y) و میدان مغناطیسی در امتداد افقی (z) و انتشار موج در جهت x است.

۷۴

همه‌ی تعاریفی که در مورد یک موج مکانیکی داشتیم (از جمله بسامد، دوره، فاز، فاز اولیه، طول موج و ...) در مورد یک موج الکترومغناطیس نیز صدق می‌کند.

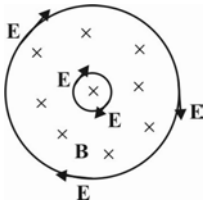
پرسش ۳ـ۵

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

امواج الکترومغناطیس به شکل‌های مختلفی تولید می‌شوند، به این امواج توسط اجسام، گسیل یا تابش گفته می‌شود.

۱- میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی متناوب در امواج الکترومغناطیس هم دوره و هم‌فاز (درخلأ) هستند، اما بحث در مورد هم‌دامنه بودن آن‌ها بی‌معنی است. زیرا که از لحاظ ماهیت با یک‌دیگر متفاوت هستند و از دو رابطه متفاوت به دست می‌آیند.

۲- امواج الکترومغناطیسی پدید آمده در آنتن هرتز با ولتاژ منبع آن اختلاف فاز دارند.



۳- در شکل مقابل جهت $\mathbf{E}$ همان جهت جریان القایی است و طبق قوانین مغناطیس اگر جهت جریان ساعتگرد باشد میدان القایی در پاد ساعتگرد
و چون جهت میدان القایی با میدان اصلی هم جهت شده پس میدان مغناطیسی در حال کاهش بوده است (طبق قانون لنز)

تمرین ۳ـ۵

طول آنتن یک گوشی تلفن همراه قدیمی معمولاً $\frac{۱}{۴}$ طول‌موج دریافتی است. اگر طول چنین آنتنی تقریباً برابر ۸/۵cm باشد بسامدی را که این گوشی با آن کار می‌کند تعیین کنید.

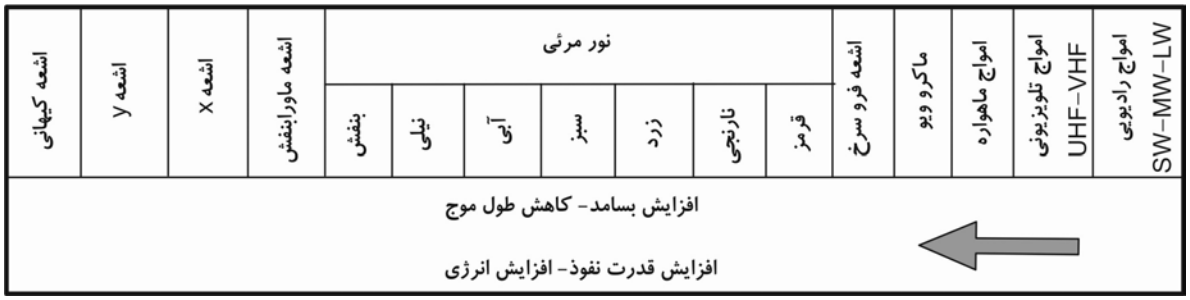
۴۰. الف) طول‌موج نور نارنجی در هوا حدود $۶/۲۰ \times ۱۰^{-۷}\ m$ است، بسامد این نور چند هرتز است؟
ب) بسامد نور قرمز در حدود $۴/۳۰ \times ۱۰^{۱۴}\ Hz$ است. طول‌موج این نور را در هوا و آب حساب کنید. (سرعت نور را در هوا $۳/۰ \times ۱۰^{۸}\ m/s$ و در آب $۲/۲۵ \times ۱۰^{۸}\ m/s$ فرض کنید.)

گستره امواج الکترومغناطیس:

$400nm$ کوتاه‌ترین طول موج برای تابش الکترومغناطیس در مورد پرتوهای گاما وایکس در گستره کم‌تر از یک پیکومتر تا یک نانومتر است این طول موج‌ها در حدود قطر ملکول‌ها $10^{-9}m$ اتم‌ها $10^{-10}m$ و هسته اتم $10^{-14}m$ است.

بلندترین طول موج در این طیف متعلق به موج‌های رادیویی است. (بیش‌تر از یک میکرون)

طیف پیوسته دارای گستره‌ای متصل و ناگسسته از طول موج‌هاست طیف موج‌های الکترومغناطیس نیز پیوسته است هیچ فاصله‌ای در آن وجود ندارد و بسامدی نیست که در آن نباشد.



طول موج برای امواج فرابنفش کم‌تر از ۴۰۰۰ آنگستروم (۰/۴ میکرون) و برای فروسرخ از ۸۰۰۰ آنگستروم (۰/۸ میکرون) بیش‌تر است و حساس‌ترین نور به چشم انسان نور زرد است که دارای طول موج ۵۸۰۰ آنگستروم است.

نکته: بسامد امواج الکترومغناطیسی در گستره‌ای بسیار بزرگ از حدود 10^{3} هرتز تا حدود 10^{22} هرتز تغییر می‌کند.

طول موج امواج الکترومغناطیسی نیز گستره‌ای وسیع از حدود 10^{-13} متر تا حدود 10^{5} متر را در بر می‌گیرد.

رنگ‌های مختلف نور مرئی دارای بسامدها و طول موج‌های متفاوتی هستند و تفاوت اثر آن‌ها در بینایی و درک ما از رنگ‌ها به تفاوت بسامد آن‌ها مربوط است.

طیف نور مرئی از نور بنفش با طول موج حدود $400nm$ شروع می‌شود و همه‌ی طول موج‌های دیگر را در برمی‌گیرد تا به نور سرخ با طول موج حدود $700nm$ می‌رسد.

اشعه‌ی فروسرخ که دارای خاصیت گرمایی زیادی است دارای طول موجی بیش‌تر از $700nm$ است.

اشعه‌ی فرابنفش که دارای خاصیت شیمیایی زیادی است دارای طول موجی کم‌تر از $400nm$ است.

خواص امواج الکترومغناطیس:

الف) انرژی را از محلی به محل دیگر منتقل می‌کنند.

ب) از نوع امواج عرضی هستند.

ج) برای انتشار به محیط عادی نیاز ندارند.

سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس:

سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس برابر سرعت انتشار نور $3\times10^{8}\frac{m}{s}$ می‌باشد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

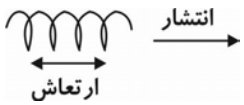
$$c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=(\varepsilon_0\mu_0)^{-\frac{1}{2}}$$

$\varepsilon_0=8/85\times10^{-12}\frac{C^2}{N.m^2}$ گذردهی الکتریکی خلا و $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\frac{T.m}{A}$ گذردهی مغناطیسی خلا می‌باشد.

نام و گستره‌ی طول موج	چشمه تولید موج	وسایل آشکارسازی	خواص و کاربرد
پرتو γ	هسته‌ی مواد رادیو اکتیو پرتوهای کیهانی	شمارش‌گر گایگر مولر فیلم عکاسی	فوتون با انرژی زیاد- خیلی خطرناک از بین بردن بافت سرطانی پیداکردن ترک فلزات ضد عفونی کردن تجهیزات
پرتو X	لامپ پرتو X	فیلم عکاسی صفحه فلوئورسان	فوتون با انرژی زیاد- خیلی خطرناک استفاده در پرتونگاری استفاده در مطالعه ساختار بلور معالجه بیماری‌های پوستی
فرابنفش- U.V	خورشید اجسام خیلی داغ لامپ بخار جیوه	چشم فیلم عکاسی فوتوسل	جذب شیشه می‌شوند واکنش شیمیایی ایجاد می‌کند یاخته‌های زنده را از بین می‌برد در پزشکی و لامپ‌های U.V
نور مرئی نور سبز	خورشید اجسام داغ لیزرها	فیلم عکاسی فوتوسل	دیدن اجسام رشد گیاهان و فوتوسنتز سیستم‌های مخابراتی(لیزر و تار نوری
فرو سرخ I.R	خورشید اجسام داغ	فیلم عکاسی	با جذب در پوست تولید گرما می‌کند فیلم‌برداری و عکس‌برداری در شب عکاسی توسط ماهواره
رادیویی	اجاق‌های ماکروویو آنتن‌های رادیویی و تلویزیونی	رادیو تلویزیون	آشپزی- رادیو- تلویزیون مخابرات ماهواره‌ای رادارها برای آشکارسازی

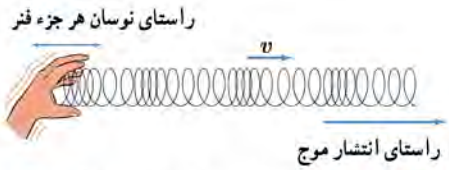
موج طولی:

موجی است که در آن راستای انتشار و ارتعاش موج در یک راستا هستند (بر هم منطبق یا موازی هستند) مانند امواج منتشر شده در فنر و یا امواج صوتی.

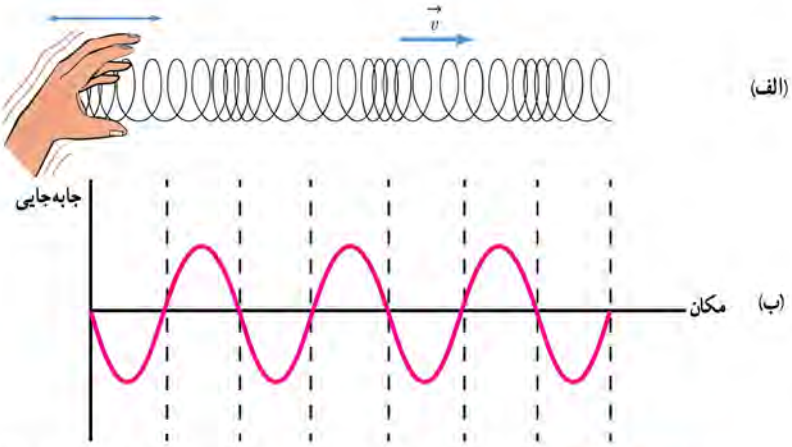


امواج طولی برای انتشار به میط مادی نیاز دارند و هر چه محیط چگال‌تر باشند انتشار بهتر صورت می‌گیرد. به عنوان مثال صوت در جامدات بهتر از گازها منتشر می‌شود.

موج طولی را می‌توان با تراکم‌ها و انبساط‌های آن تشخیص داد.



شکل ۳ـ۱۴ درحالی‌که موج به سمت راست حرکت می‌کند، هر حلقهٔ فنر همراستا با حرکت موج به چپ و راست نوسان می‌کند، به‌طوری‌که ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی به‌طور متناوب در طول فنر ظاهر می‌شود.



شکل ۳ـ۱۳ الف) تصویری لحظه‌ای از ایجاد نواحی جمع‌شدگی و بازشدگی در طول یک فنر بلند کشیده، هنگام انتشار موج طولی سینوسی در فنر ب) نمودار جابه‌جایی ــ مکان برای موج ایجاد شده در فنر

صوت:

صوت یک موج مکانیکی طولی است که در هوا با سرعت تقریبی $۳۴۰\frac{m}{s}$ حرکت می‌کند، صوت برای انتشار به محیط مادی نیاز دارد و هر چه محیط فشرده‌تر و غلیظ‌تر باشد در آن بهتر منتشر می‌شود. (وت به صورت امواج مکانیکی در فضا منتشر می‌شود)

حرکت صوت در هوا به صورت تراکم و انبساط محیط خواهد بود.

نمودار چگالی یا فشار بر حسب فاصله به صورت مقابل است یعنی موج صوتی در هوا به صورت تراکم و انبساط‌های متوالی حرکت می‌کند.

گوش ما اصواتی را که بسامد آن‌ها بین $۲۰Hz$ تا $۲۰۰۰Hz$ است می‌شنود و بسامدهای پایین‌تر و یا بالاتر از این گستره را نمی‌شنود. اما برخی حیوانات مانند اسب، خفاش و سگ بسامدهای کم‌تر و یا بیش‌تر از این گستره را می‌تواند بشنوند. موج‌های با بسامد بالاتر از $۲۰۰۰۰Hz$ را موج‌های فراصوتی و موج‌های با بسامدهای پایین تراز $۲۰Hz$ را موج‌های فروصوتی می‌نامند.

از باتاب موج‌های صوتی از روی اجسام برای تعیین محل اجسام زیر استفاده می‌شود. این روش که به نام روش پژواک تپ یا سونار معروف است و کاربردهای پزشکی نیز دارد. (مانند سونوگرافی).

تمرین ۳ـ۶

شخصی با چکّش به انتهای میلهٔ باریک بلندی ضربه‌ای می‌زند. تندی صوت در این میله ۱۵ برابر تندی صوت در هوا است. شخص دیگری که گوش خود را نزدیک به انتهای دیگر میله گذاشته است، دو صدا را که یکی از میله می‌آید و دیگری از هوای اطراف میله، با اختلاف زمانی ۰/۱۲s می‌شنود. اگر تندی صوت در هوا ۳۴۰m/s باشد، طول میله چقدر است؟

۲۱. چشمهٔ موجی با بسامد ۱۰Hz در یک محیط که تندی انتشار موج در آن ۱۰۰m/s است، نوسان هایی طولی ایجاد می کند. اگر دامنهٔ نوسان‌ها ۴/۰cm باشد،

الف) فاصلهٔ بین دو تراکم متوالی این موج چقدر است؟

ب) فاصلهٔ بین یک تراکم و یک انبساط متوالی چقدر است؟

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

الف) بسامد زاویه‌ای در این کاوهٔ نوسان چقدر است؟

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

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

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

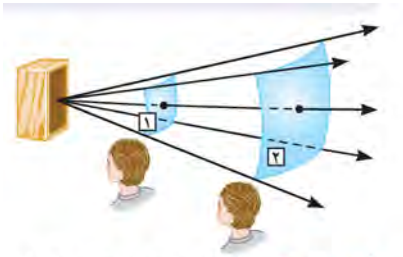
ب) اگر $\Delta t = ۱/۰۰s$ و فلز از جنس فولاد باشد، طول L لوله چقدر است؟ $(v_{هوا} = ۳۴۰m/s)$

شدت صوت:

شدت صوت میزان انرژی صوتی است که توسط صوت در واحد زمان از واحد سطح در جهت عمود بر راستای انتشار عبور می‌کند.

شدت صوت را با I نمایش می‌دهند و یکای آن $\frac{W}{m^2}$ است.

امواج صوتی به صورت کروی در اطراف چشمه منتشر می‌شوند $(A = 4\pi r^2)$



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

عوامل مؤثر بر شدت صوت در گازها:

ملاحظه می‌شود که شدت صوت به عوامل زیر بستگی دارد:

با مجذور دامنه نسبت مستقیم دارد.

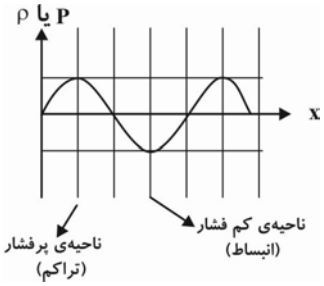
با مجذور بسامد نسبت مستقیم دارد.

با مجذور فاصله نسبت عکس دارد.

با جنس محیط رابطه‌ی مستقیم دارد.

پس می‌توان رابطه‌ی شدت صوت را به صورت مقابل نوشت

$$I = k\frac{A^2 f^2}{r^2}$$



نمودار چگالی یا فشار بر حسب فاصله به صورت مقابل است.

یعنی موج صوتی در هوا به صورت متراکم و انبساط‌های متوالی هوا حرکت می‌کند.

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

گستره شنوایی از لحاظ شدت:

گوش ما صوت‌هایی را می‌شنود که شدت آن‌ها بین $I_0 = 10^{-12}\frac{W}{m^2}$ تا $1\frac{W}{m^2}$ باشد. یعنی گستره شنوایی ما به صورت زیر است:

پس می‌توان رابطه‌ی شدت صوت را به صورت مقابل نوشت:

$$I_0 = 10^{-12}\frac{W}{m^2} \qquad I = 1\frac{W}{m^2}$$

هر چه شدت صوتی بیش‌تر باشد گوش آن را بلندتر می‌شنود ولی این به این معنی نیست که بلندی صوت یا شدت آن نسبت مستقیم دارد.

آستانه شنوایی:

کم‌ترین شدت صوتی است که ما می‌شنویم. یعنی $I_0 = 10^{-12}\ \frac{W}{m^2}$ اگر شدت صوت از این مقدار کم‌تر باشد ما نمی‌شنویم.

آستانه دردناکی:

بیش‌ترین شدت صوتی است که ما می‌شنویم که اگر شدت صوت از آن بیش‌تر شود به گوش ما آسیب می‌رسد. یعنی $I = 1\frac{W}{m^2}$

آستانه شنوایی و دردناکی برای بسامدهای مختلف متفاوت است کم‌تین آستانه‌ی شنوایی یعنی آهسته‌ترین صدایی که توسط انسان شنیده می‌شود مربوط به بسامدهای ۴۰۰ هرتز تا ۵۰۰ هرتز است.

آستانه‌ی شنوایی برای بسامدهای کم (عدد ۲۰ هرتز) و برای بسامدهای زیاد (حدود ۲۰۰۰۰ هرتز) زیاد است.

تراز نسبی شدت (شدت نسبی امساس):

تراز شدت صوت معیاری است برای بلندتر شنیدن صوت گوش ما تغییرات شدت صوت را به صورت یک تابع لگاریتمی دریافت می‌کند. شدت صوت به شدت صوت مینا را تراز نسبی شدت می‌گوییم و داریم:

(بل) $b = \text{Log}\frac{I}{I_0}$

و چون مقدار آن کوچک است از دسی بل استفاده می‌شود و داریم:

(دسی بل) $db = \text{Log}\frac{I}{I_0}$

برای مقایسه شدت نسبی دو صوت مختلف داریم:

$$\left.\begin{matrix} db_1 = \text{Log}\frac{I}{I_0} \\ db_2 = \text{Log}\frac{I}{I_0} \end{matrix}\right\} \Rightarrow db_2 - db_1 = 10\,\text{Log}\frac{I_2}{I_1}$$

$$db_2 - db_1 = 20\,\text{Log}\frac{r_1}{r_2}$$

گوش سالم تراز شدت بین ۰ تا ۱۲۰db را می‌شنود.

یادآوری: برای حد مسائل تراز شدت صوت لازم است به روابط لگاریتم تسلط کافی داشته باشیم.

۱) $\text{Log}_a^x = y \quad \Leftrightarrow x = a^y$

۲) $\text{Log}_a^a = 1$

۳) $\text{Log}1 = 0$

۴) $\text{Log}_x^n = n\text{Log}(xy)$

۵) $\text{Log}\,x + \text{Log}\,y = \text{Log}\frac{x}{y}$

۶) $\text{Log}\,x - \text{Log}\,y = \text{Log}\frac{x}{y}$

توجه: اگر شدت صوتی 10^n برابر شود تراز شدت آن $10n$ افزایش می‌یابد.

تمرین ۳ـ۷

با زیاد کردن صدای تلویزیونی، شدت صوتی که به گوش ما می‌رسد ۱۰۰ برابر می‌شود. تراز شدت صوتی که می‌شنویم چند دسی‌بل افزایش یافته است؟

۲۷. شدت صدای حاصل از یک متهٔ سنگ‌شکن در فاصلهٔ $10/0\,m$ از آن $1/0\times10^{-2}\,W/m^2$ است. تراز شدت صوتی آن برحسب dB چقدر می‌شود؟

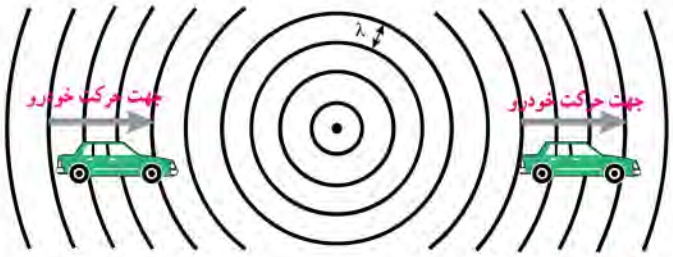
۲۹. یک دستگاه صوتی، صدایی با تراز شدت $\beta_1=90/0\,dB$ و دستگاه صوتی دیگر، صدایی با تراز شدت $\beta_2=95/0\,dB$ ایجاد می‌کند. شدت‌های مربوط به این دو تراز (برحسب W/m^2) به ترتیب I_1 و I_2 هستند. نسبت I_2/I_1 را تعیین کنید.

۳۰. در یک آتش‌بازی، موشکی در بالای آسمان منفجر می‌شود. فرض کنید صوت به‌طور یکنواخت در تمام جهت‌ها منتشر شود. از جذب انرژی صوتی در محیط و نیز از بازتابی که ممکن است امواج صوتی از زمین پیدا کند چشم‌پوشی کنید. با فرض اینکه صوت با شدت $I=0/10\,W/m^2$ به شنونده‌ای برسد که به فاصلهٔ $r_1=640\,m$ از محل انفجار قرار دارد، این صوت به شنونده‌ای که در فاصلهٔ $r_2=160\,m$ از محل انفجار قرار دارد با چه شدتی می‌رسد؟

پدیـــده دوپلـــر (مخصـــوص رشته‌ی (ریاضی)

وقتی که چشمه صوت و شـنونده نسبت به هـم در حرکـت باشـند. بسـامد کـه بـه گـوش شـنونده می‌رسد با بسامدی که منبع تولید می‌کند متفاوت اسـت (بـه علـت حرکت نسبی ناظر و منبع صـوت) و داریم:

$$\frac{f_\circ}{V - V_\circ} = \frac{f_s}{V - V_s}$$



شکل ۳ـ۲۸ در مدت زمان یکسان خودرویی که به چشمهٔ ساکن صوت نزدیک می‌شود با جبهه‌های موج بیشتری برخورد می‌کند، در حالی که خودرویی که از این چشمه دور می‌شود با جبهه‌های موج کمتری برخورد می‌کند.

و یا

$$f_\circ = \frac{V - V_\circ}{V - V_\circ} f_x$$

که در آن $V_\circ$ سرعت شنونده و $f_\circ$ بسامدی که شنونده دریافت می‌کند.

V_s سرعت منبع و f_x بسامد که منبع تولید می‌کند و V سرعت صوت است.

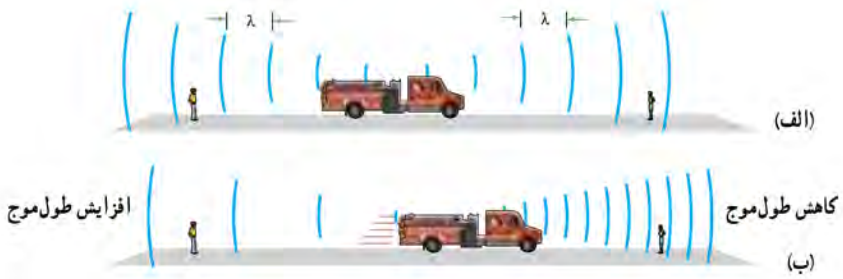
در فرمول فوق جهت مثبت، جهت انتشار صوت می‌باشد و سرعت‌ها هر کدام در خلاف جهت آن بود با علامت منفی در نظـر گفتـه می‌شود.

طول موج در پدیده دوپلر:

اگر طول موج صوتی که شنونده دریافت می‌کند. $\lambda_\circ$ و طول موج در حالتی که منبع سـاکن اسـت را λ_s بنـامیم در ایـن صـورت داریم:

$$\frac{\lambda_\circ}{\lambda_s} = \frac{f_s}{f_\circ}$$

اما طول موج در جلو و عقب منبع متفاوت است و به سرعت و حرکت شنونده بستگی ندارد همواره طول موج در پشت منبع بلندتر از طول موج در جلوی منبع است و داریم $\lambda' = \lambda \pm VT = \frac{V \pm V_\circ}{f}$ علامت + برای جلوی منبع می‌باشد.



شکل ۳ـ۲۷ الف) وقتی ماشین ساکن است تجمع جبهه‌های موج در جلو و عقب ماشین یکسان است. ب) با حرکت رو به جلوی ماشین، تجمع جبهه‌های موج در جلوی ماشین بیشتر و در عقب آن کمتر می‌شود.

ضربان:

اگر دو صوت با فرکانس‌های f_1 و f_2 با هم تولید شوند، شنونده صوتی می‌شنود که با فرکانس $f = f_2 - f_1$ متناوباً قوی و ضعیف می‌شود این پدیده را ضربان می‌گویند.توجه: طول موج منبع صوت را می‌توان به صورت زیر به دست آورد.

$$\lambda_{\text{منبع}} = \frac{\lambda_{\text{عقب}} + \lambda_{\text{جلو}}}{2}$$

توجه:

۱- معمولاً در هنگام برخورد صوت به یک مانع از اتلاف انرژی صرفنظر می‌کنیم پس صوت با همان بسامد برمی‌گردد.

۲- اگر صوت توسط یک متحرک تولید و به یک مانع ساکن (مانند صخره یا دیوار) برخورد کند و دوباره به گوش متحرک برسد دو بار دوپلر اتفاق می‌افتد یک‌بار متحرک به عنوان منبع و صخره شنونده است و در بازگشت صخره به عنوان منبع و متحرک شنونده است برای راحتی کار می‌توان صخره را به عنوان آینه‌ی تخت درنظر گرفت و تصویر متحرک در این آینه‌ی فرضی را به عنوان شنونده و مانند حالت سوم عمل نمود.

شکل ۳ـ۲۹ اگر کهکشانی به ما نزدیک یا از ما دور شود، بسامد و طول‌موج دریافتی از آن تغییر می‌کند.

انرژی موج:

وقتی موج به ذره‌ای از محیط می‌رسد آن ذره با بسامد موج به نوسان در می‌آید پس موج به ذره‌ی محیط انرژی منتقل می‌کند

$$E = \frac{1}{2}mA^2\omega^2 \xrightarrow{\omega=2\pi f} E = 2\pi^2 mf^2A^2$$

وقتی قله‌ی موج به یک ذره از محیط می‌رسد در آن لحظه تمام انرژی ذره به صورت انرژی پتانسیل است و وقتی که ذره از وضع تعادل می‌گذرد تمام انرژی آن به صورت انرژی جنبشی است در انتشار موج در یک بعد چون انرژی از یک ذره به ذره‌ی دیگر منتقل می‌شود با پیش روی موج دامنه ثابت می‌ماند اما در انتشار امواج در دو یا سه بعد با پیش روی موج انرژی باید بین ذرات بیش‌تری توزیع گردد پس دامنه کاهش می‌یابد که کاهش دامنه در محیط‌های سه بعدی بیش‌تر از دو بعدی است. انرژی موج در طولی از طناب برابر یک طول موج برابر است با

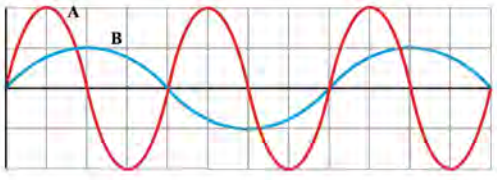
$$E = 2\pi^2 mf^2A^2 \xrightarrow[E=2\pi^2\mu VfA^2]{\mu=\frac{m}{l}\ L=\lambda} E = 2\pi^2\mu\lambda f^2A^2$$

شدت موج:

شدت موج برابر است با مقدار انرژی‌ای که هر واحد سطح عمود بر راستای انتشار در واحد زمان همراه با موج دریافت می‌کند واحد آن وات بر مترمربع است و به عوامل زیر بستگی دارد.

الف) با مجذور دامنه موج ب) با مجذور بسامد زاویه‌ای موج با سرعت انتشار موج در محیط

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



۱. موج عرضی با بسامد ۲٫۵ هرتز در سطح آب تولید شده و با سرعت $۰٫۵\frac{m}{s}$ منتشر می‌شود. فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی موج چند سانتی‌متر است؟

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۴۰ ۴) ۶۰

۲. قطر سطح مقطع یک سیم مرتعش یک میلی متر، چگالی آن $۸\frac{gr}{cm^۳}$ و طول آن $۸۰cm$ است. اگر یک موج عرضی در مدت ۰٫۰۲ ثانیه طول سیم را طی کند، نیروی کشش سیم چند نیوتون است؟ $(\pi = ۳)$

۱) ۱۲٫۴ ۲) ۹٫۶ ۳) ۴٫۸ ۴) ۱۶٫۲

۳. سرعت انتشار موج در طول یک تار که جرم هر متر آن ۵ گرم است و تحت تأثیر نیروی کشش ۲۰۰ نیوتون می‌باشد، چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۲۰ ۲) ۴۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۲۰۰

۴. سیمی به طول یک متر و جرم ۴ گرم بین دو نقطه‌ی ثابت بسته شده است. اگر نیروی کشش سیم ۱۰ نیوتون باشد، سرعت انتقال امواج عرضی در آن چندمتر بر ثانیه است؟

۱) ۲۰ ۲) ۲۵ ۳) ۴۰ ۴) ۵۰

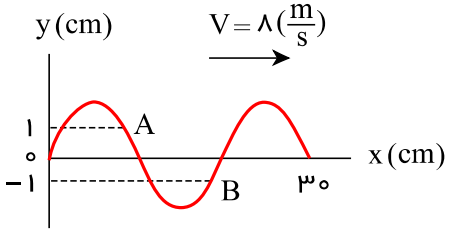
۵. اگر کشش تاری $۱۲۸N$ باشد، سرعت انتشار موج عرضی در آن $۱۶۰\frac{m}{s}$ است. نیروی کشش تار را چند نیوتون افزایش دهیم تا سرعت انتشار موج در آن $۲۰۰\frac{m}{s}$ شود؟

۱) ۳۲ ۲) ۷۲ ۳) ۱۶۰ ۴) ۲۰۰

۶. موجی با بسامد $۱۰۰Hz$ و طول موج ۰٫۵ متر، فاصله‌ی ۱۰ متر را در چند ثانیه طی می‌کند؟

۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) $\frac{۱}{۵}$ ۴) $\frac{۱}{۱۰}$

۷. شکل روبه‌رو، نقش موجی را درلحظه‌ی $t = ۰$ نشان می‌دهد. در لحظه‌ی $t = \frac{۱}{۳۰۰}s$ بزرگی شتاب ذره‌ی A چند برابر بزرگی شتاب ذره‌ی B است؟



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

۸. کدام گزینه نادرست است؟

۱) موج صوتی توعی موج مکانیکی است.
۲) برای انتقال انرژی توسط موج، همواره نیازمند محیط کشسان هستیم.
۳) انتشار موج در یک محیط همگن و کشسان به طور یکنواخت است.
۴) سرعت انتشار موج در یک محیط، به ویژگی های فیزیکی محیط مرتبط است.

۹. ارتعاش‌های یک دیاپازون در یک تار منتشر می‌شود. در کدام گزینه هر دو مورد ذکر شده باعث افزایش سرعت انتشار موج می‌شود؟

۱) افزایش دامنه‌ی موج – استفاده از دیاپازون با بسامد بیشتر
۲) استفاده از تار نازک‌تر با همان جنس – افزایش نیروی کشش تار
۳) افزایش دامنه‌ی موج – افزایش نیروی کشش تار
۴) استفاده از دیاپازون با بسامد بیشتر – استفاده از تار نازک‌تر با همان جنس

۱۰. در مورد انتشار موج عرضی کدام درست است؟

۱) سرعت انتشار آن در تار با نیروی کشش تار متناسب است.

۲) در هر محیط کشسان منتشر می‌شود.

۳) انتشار لرزش‌ها در پوسته‌ی طبل در اثر وارد کردن ضربه بر آن، یک نمونه از آن است.

۴) راستای انتشار موج با راستای نوسان ذرات محیط یکسان است.

۱۱. چگالی یک سیم فلزی ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و قطر آن ۴ میلی‌متر و نیروی کشش آن ۱۵۰ نیوتن است. سرعت انتشار موج عرضی با بسامد ۲۰۰ هرتز در این تار چند متر بر ثانیه است؟ $(\pi \simeq ۳)$

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۵ ۳) ۱۵۰ ۴) ۵۰

۱۲. تاری به جرم m و طول L بین دو نقطه با نیروی کشش F محکم بسته شده است. اگر این تار را دولا کنیم و با نیروی $۲F$ بین دو نقطه محکم ببندیم، سرعت انتشار موج عرضی در این تار نسبت به حالت اول چند برابر می‌شود؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۱۳. منبع موجی در یک محیط امواجی با طول موج λ منتشر می‌کند. اگر منبع موج را به محیطی ببریم که سرعت انتشار موج در آن ۲ برابر محیط اول باشد و بسامد منبع هم $\frac{۱}{۳}$ برابر حالت اول شود، طول موج چند برابر λ می‌گردد؟

۱) $\frac{۲}{۳}$ ۲) $\frac{۳}{۲}$ ۳) ۶ ۴) $\frac{۱}{۶}$

۱۴. در مورد انتشار موج مکانیکی، کدام گزینه درست است؟

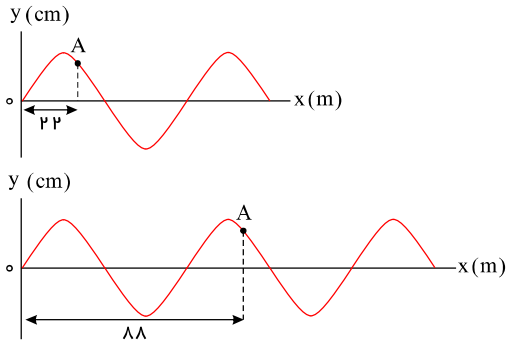
۱) در خلاء منتشر می‌شود.

۲) سرعت انتشار موج با بسامد موج نسبت مستقیم دارد.

۳) فاصله‌ی دو نقطه‌ی هم‌فاز متوالی با بسامد موج نسبت مستقیم دارد.

۴) سرعت انتشار موج به نسبت محیط انتشار بستگی دارد و به بسامد موج بستگی ندارد.

۱۵. در شکل‌های زیر، نقش یک موج در دو لحظه‌ی $t_۱$ و $t_۲$ نشان داده شده است. اگر بسامد نوسان‌های موج برابر با $۲۵Hz$ باشد، $\Delta t = t_۲ - t_۱$ برابر با چند ثانیه است؟



۱) ۰٫۴

۲) ۰٫۰۴

۳) ۱۵

۴) ۱٫۵

۱۶. اگر اندازه‌ی نیروی کشش طنابی را چهار برابر کنیم، با ثابت ماندن طول طناب، سرعت انتشار امواج عرضی در طناب چند برابر می‌شود؟

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

۱۷. سرعت انتشار موجی عرضی در تاری که جرم هر متر آن ۱۰ گرم است و با نیروی $۱۰۰N$ کشیده شده است، چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱ ۲) ۱۰ ۳) ۱۰۰ ۴) ۱۰۰۰

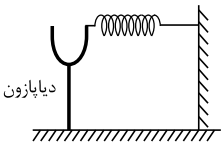
۱۸. دو موج مکانیکی A و B در یک محیط کشسان منتشر می‌شوند. اگر بسامد موج A، ۴ برابر بسامد موج B باشد، طول موج و سرعت انتشار موج A چند برابر طول موج و سرعت انتشار موج B است؟ (به ترتیب از راست به چپ)

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

۱۹. موج عرضی در یک محیط منتشر می‌شود و فاصله‌ی بین دو قله‌ی متوالی آن $۱۰cm$ است. اگر سرعت انتشار موج در آن محیط $۵\frac{m}{s}$ باشد، بسامد موج چند هرتز است؟

۱) ۱۰۰ ۲) ۵۰ ۳) ۲۵ ۴) ۱۰

۲۰. مطابق شکل زیر، چنانچه فنر سبکی را توسط یک دیاپازون به نوسان درآوریم، موج ایجاد شده درفنر از نوع ..... است و با تغییر بسامد دیاپازون سرعت انتشار این موج در فنر .....

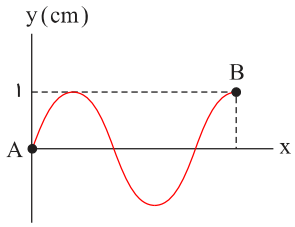


۱) عرضی – تغییر می کند
۲) طولی – تغییر می کند
۳) عرضی – ثابت می‌ماند
۴) طولی – ثابت می‌ماند

۲۱. کدام یک از عبارت‌های زیر نادرست است؟

۱) موج در حین انتشار خود، انرژی را از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر منتقل می کند.
۲) علت انتشار موج در محیط‌های کشسان، وجود نیروی کشسانی بین اجزای محیط است.
۳) سرعت انتشار موج در یک محیط، به شرایط فیزیکی چشمه‌ی موج بستگی دارد.
۴) در مدت یک دوره، موج به اندازه‌ی یک طول موج پیشروی می کند.

۲۲. در شکل مقابل، ۲٫۵ ثانیه طول می کشد تا موج از نقطه‌ی A به B برود. بسامد نوسان‌ها چند هرتز است؟



۱) ۱ ۲) ۳
۳) ۲ ۴) ۰٫۵

۲۳. کدام یک از گزینه‌های زیر در مورد امواج از لحاظ نحوه‌ی انتشار در محیط کشسان، نادرست بیان شده است؟

۱) در امواج طولی، راستای انتشار موج با راستای ارتعاش ذرات محیط یکسان است.
۲) در امواج عرضی، راستای انتشار موج بر راستای ارتعاش ذرات محیط عمود است.
۳) در امواج عرضی، برخلاف امواج طولی، ذرات محیط همراه با موج حرکت می کنند.
۴) در امواج طولی، با انتشار موج در محیط، ذرات محیط حرکت نوسانی ساده انجام می‌دهند.

۲۴. مساحت مقطع یک سیم $۱۰^{-۴}cm^۲$ و چگالی آن $۲٫۴\frac{g}{cm^۳}$ است. اگر این سیم با نیروی ۶ نیوتون کشیده شود، سرعت انتشار امواج عرضی در آن چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۵۰ ۲) ۵۰۰ ۳) ۲۵۰ ۴) ۲۵

۲۵. در مورد موج مکانیکی، کدام درست است؟

۱) با دور شدن از منبع، بسامد نوسان کم می‌شود.
۲) انتقال انرژی مکانیکی بدون انتقال ماده انجام می‌شود.
۳) سرعت انتشار موج، با جذر بسامد نسبت مستقیم دارد.
۴) طول موج به ویژگی‌های محیط بستگی دارد و به منبع وابسته نیست.

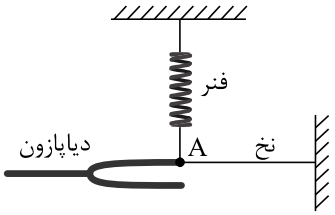
۲۶. بسامد اصلی یک تار دو سر بسته $f_۱$ و طول موج اصلی آن $\lambda_۱$ است. اگر نیروی کشش تار ۴ برابر شود، بسامد اصلی آن $f'_۱$ و طول موج اصلی آن $\lambda'_۱$ می‌شود. کدام درست است؟

۱) $f'_۱ = ۲f_۱ \ , \ \lambda'_۱ = \frac{۱}{۲}\lambda_۱$
۲) $f'_۱ = ۲f_۱ \ , \ \lambda'_۱ = \lambda_۱$
۳) $f'_۱ = f_۱ \ , \ \lambda'_۱ = ۲\lambda_۱$
۴) $f'_۱ = \frac{۱}{۲}f_۱ \ , \ \lambda'_۱ = ۲\lambda_۱$

۲۷. سیمی به طول $۸۰cm$ و چگالی $۴\frac{g}{cm^۳}$ که با نیروی کششی $F=۴۸۰N$ کشیده می‌شود و قطر مقطع آن ۱ میلی‌متر است. چند میلی‌ثانیه طول می‌کشد تا موج طول سیم را طی کند؟ $(\pi=۳)$

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۲۸. در شکل زیر، یک سرنخ و فنر در نقطه‌ی A به شاخه‌ی دیاپازون وصل شده است و دیاپازون نوسان می‌کند. کدام یک از گزینه های زیر در مورد آن درست است؟



۱) در فنر و نخ، موج طولی تشکیل می‌شود.
۲) در فنر و نخ، موج عرضی تشکیل می‌شود.
۳) در فنر موج طولی و در نخ موج عرضی تشکیل می‌شود.
۴) در فنر موج عرضی و در نخ موج طولی تشکیل می‌شود.

۲۹. دو موج مکانیکی A و B در یک محیط کشسان با دامنه‌ی یکسان منتشر می‌شوند. اگر بسامد موج A، $\frac{۲}{۳}$ برابر بسامد موج B باشد، طول موج و حداکثر سرعت ارتعاش ذرات در موج A به ترتیب از راست به چپ چند برابر طول موج و حداکثر سرعت ارتعاش ذرات در موج B است؟

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

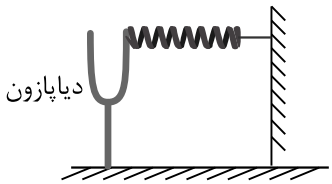
۳۰. طنابی به جرم واحد طول $۰/۲\frac{kg}{m}$ در اختیار داریم. در طول طناب موجی با بسامد $۱۰Hz$ و طول موج $۲۰۰cm$ منتشر می‌شود. اندازهٔ نیروی کشش طناب چند نیوتون است؟

۱) ۸۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۲۰۰۰ ۴) ۸۰×۱۰^۴

۳۱. در طنابی که نیروی کشش آن $۲۰۰N$ و جرم هر متر از آن ۲۰ گرم است، موجی عرضی ایجاد می‌کنیم. سرعت انتشار موج در این طناب چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱۰۰ ۲) $۱۰۰\sqrt{۲}$ ۳) ۲۰۰ ۴) $۲۰۰\sqrt{۲}$

۳۲. مطابق شکل زیر، چنان‌چه فنر سبکی را توسط یک دیاپازون به نوسان در آوریم، موج ایجاد شده در فنر از نوع ..... است و با تغییر بسامد دیاپازون، سرعت انتشار این موج در فنر .....



۱) عرضی – تغییر می‌کند.
۲) طولی – تغییر می‌کند.
۳) عرضی – ثابت می‌ماند.
۴) طولی – ثابت می‌ماند.

۳۳. سیمی به طول L و جرم m را با نیروی F می‌کشیم. سرعت انتشار امواج عرضی در آن V می‌شود. درصورتی که این سیم را از حدیده عبور دهیم تا طولش ۲ برابر شود و آن را با نیروی $۳F$ بکشیم، سرعت انتشار موج در طول آن چند V می‌شود؟ (دما ثابت و یکسان فرض شود.)

۱) $\frac{۲\sqrt{۶}}{۳}$ ۲) $\frac{\sqrt{۶}}{۲}$ ۳) ۶ ۴) $\sqrt{۶}$

۳۴. دو موج مکانیکی در یک محیط کشسان منتشر می‌شوند. اگر بسامد اولی ۶ برابر بسامد دومی و دامنه‌ی اولی ۲ برابر دامنه‌ی دومی باشد، سرعت انتشار (V) و طول موج (λ) اولی چند برابر دومی است؟

۱) $\frac{V_۱}{V_۲}=۱$ و $\frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}=\frac{۱}{۳}$ ۲) $\frac{V_۱}{V_۲}=۳$ و $\frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}=\frac{۱}{۶}$
۳) $\frac{V_۱}{V_۲}=۳$ و $\frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}=\frac{۱}{۳}$ ۴) $\frac{V_۱}{V_۲}=۱$ و $\frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}=\frac{۱}{۶}$

۳۵. کدام یک از گزینه‌های نادرست است؟

۱) موج‌های مکانیکی برای انتشار نیاز به محیط مادی دارند.

۲) در پدیدهٔ تداخل موج در محلّی که دو موج به‌هم می‌رسند، اگر برهم‌نهی سازنده باشد، شکم تشکیل می‌شود.

۳) در یک موج طولی ذرّات محیط، در راستای انتشار موج با سرعت ثابت پیشروی می‌کنند.

۴) اختلاف فاز تقاط واقع بر یک جبههٔ موج همواره برابر صفر است.

۳۶. طنابی به طول ۴۵ سانتی‌متر و جرم ۵۰ گرم بین دو نقطهٔ ثابت بسته شده است. اگر نیروی کشش طناب ۱۰۰ نیوتن باشد، یک تپ عرضی که در یک سر طناب ایجاد شده است پس از چند میلی‌ثانیه به انتهای دیگر طناب می‌رسد؟ ($g = ۱۰ \frac{m}{s}$)

۱) ۳۰ ۲) ۱٫۵ ۳) ۳ ۴) ۱۵

۳۷. اگر نیروی کشش طنابی را چهار برابر کنیم، با ثابت ماندن سطح مقطع طناب، سرعت انتشار امواج عرضی در طناب چند برابر می‌شود؟

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

۳۸. سرعت انتشار یک موج عرضی در یک طناب برابر با $۲۰ \frac{m}{s}$ است. اندازهٔ نیروی کشش طناب چند درصد و چگونه تغییر کند تا سرعت انتشار موج در طناب $۶ \frac{m}{s}$ افزایش یابد؟

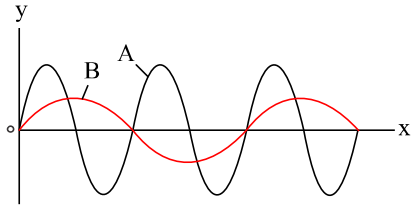
۱) ۶۹ درصد کاهش ۲) ۶۹ درصد افزایش

۳) ۱۹ درصد کاهش ۴) ۱۹ درصد افزایش

۳۹. سیمی به چگالی $۸ \frac{g}{cm^۳}$ و سطح مقطع $۲mm^۲$ بین دو نقطه با نیروی $۶۴۰N$ کشیده شده است. اگر بسامد موج $۴۰۰Hz$ باشد، کدام‌یک از اندازه‌های داده شده بر حسب سانتی‌متر، نمی‌تواند طول این تار باشد؟

۱) ۱۲۰ ۲) ۱۰۰ ۳) ۵۰ ۴) ۱۵۰

۴۰. مطابق شکل زیر، دو موج مکانیکی A و B در یک محیط منتشر می‌شوند. دوره و سرعت انتشار موج A به ترتیب چند برابر دوره و سرعت انتشار موج B است؟



۱) ۲ و ۱

۲) $\frac{۱}{۲}$ و ۱

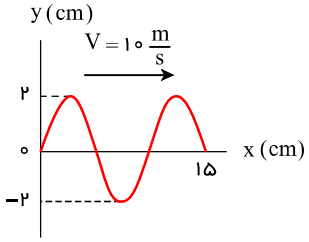
۳) ۲ و $\frac{۱}{۲}$

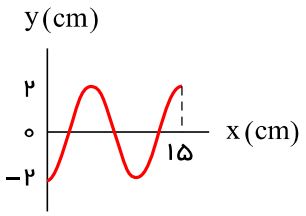
۴) $\frac{۱}{۲}$ و ۲

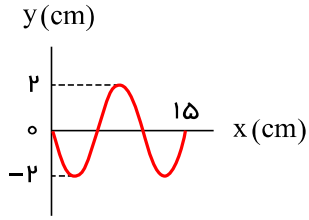
۱. سرعت انتشار موج عرضی در یک تار، $۱۰۰\frac{m}{s}$ است. نیروی کشش این تار را چند درصد افزایش دهیم، تا سرعت انتشار موج در آن به $۱۱۰\frac{m}{s}$ برسد؟

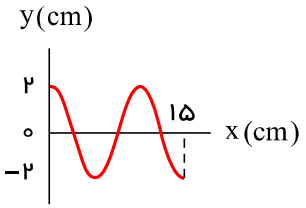
۱) $\sqrt{۱۰}$ ۲) ۱۰ ۳) $\sqrt{۲۱}$ ۴) ۲۱

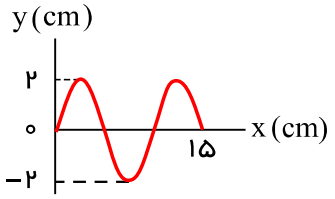
۲. نقش موجی در لحظه‌ی $t=۰$ مطابق شکل است. نقش موج در لحظه‌ی $t=\frac{۱}{۴۰۰}s$ کدام است؟



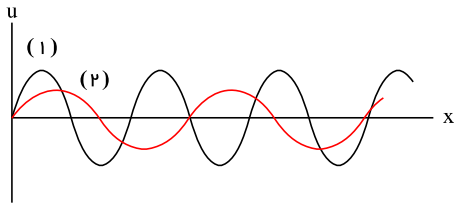
۱)


۲)


۳)


۴)


۳. موج های $u_۱$ و $u_۲$ به صورت جداگانه در یک تار منتشر شده‌اند. باتوجه به نمودارهای مقابل اگر نیروی کشش تار هنگام انتشار $u_۲$ چهار برابر نیروی کشش هنگام انتشار $u_۱$ باشد، بسامد $u_۲$ چند برابر $u_۱$ است؟



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

۴. سرعت انتشار موج عرضی در یک طناب که دو سر آن با نیروی F کشیده شده، V است. اگر طناب را دولا کنیم و با همان نیروی F دو سر آن را بکشیم، سرعت انتشار موج عرضی در آن V' می‌شود. کدام گزینه درست است؟

۱) $V'=V$ ۲) $V'=\frac{۱}{۲}V$ ۳) $V'=\frac{\sqrt{۲}}{۲}V$ ۴) $V'=\sqrt{۲}V$

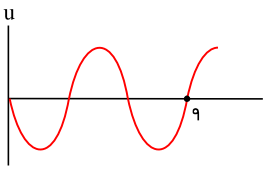
۵. یک موج ارتعاشی، امواجی با فرکانس $۱۰۰Hz$ تولید و با سرعت $۱۰\frac{m}{s}$ در محیط منتشر می‌کند. نقطه‌ی M در فاصله‌ی $۳۰cm$ از منبع واقع است. موج حاصل، پس از چند دوره به نقطه‌ی M می‌رسد؟

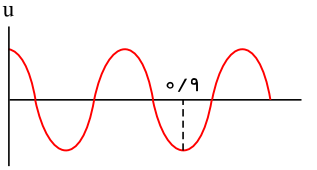
۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

۶. تارهای A و B هم‌جنس هستند و قطر تار A نصف قطر تار B است. وقتی در A موج با بسامد ۱۰۰ هرتز و در B موج با بسامد ۱۵۰ هرتز منتشر می‌شود، طول موج در دو تار مساوی می‌شود. نیروی کشش تار B چند برابر نیروی کشش تار A است؟

۱) ۹ ۲) ۶ ۳) ۳ ۴) ۱۲

۷. نمودارهای مقابل مربوط به موج عرضی منتشر شده در یک تار هستند. اگر جرم هر ۵۰ سانتی‌متر از طول تار ۲۰ گرم باشد، نیروی کشش تار چند نیوتن است؟



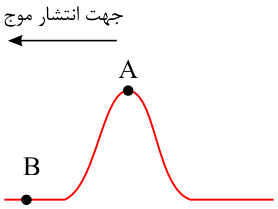


۱) ۱۰ ۲) ۲ ۳) ۵ ۴) ۴

۸. یک منبع ارتعاش، موج‌هایی با بسامد $۵۰۰Hz$ و طول موج $۰/۲m$ را در فضایی همگن منتشر می‌کند. در مدت زمانی که موج مسافت ۵۰ متر را طی می‌کند، منبع ارتعاش چند نوسان کامل انجام می‌دهد؟

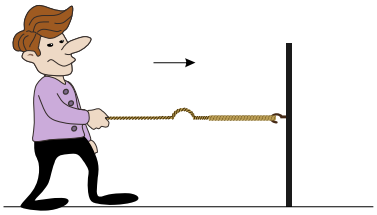
۱) ۱۵۰ ۲) ۳۰۰ ۳) ۲۵۰ ۴) ۲۲۵

۹. در شکل زیر، طناب همگنی بین دو نقطه با نیروی $۲۵N$ کشیده شده است. اگر فاصله‌ی افقی بین دو نقطه‌ی A و B برابر با $۱۰m$ باشد و تپ نشان داده شده ۴ ثانیه طول بکشد تا از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B برسد، هر سانتی‌متر از این طناب چند گرم جرم دارد؟



۱) ۰/۰۴ ۲) ۰/۴ ۳) ۴ ۴) ۴۰

۱۰. مطابق شکل، توپی با طول موج ۶ سانتی‌متر در طناب نازک ایجاد می‌کنیم. اگر قطر طناب ضخیم دو برابر قطر طناب نازک باشد و هر دو طناب هم‌جنس باشند، بسامد، طول موج و سرعت انتشار موج در طناب ضخیم، به ترتیب از راست به چپ چند برابر طناب نازک می‌شود؟



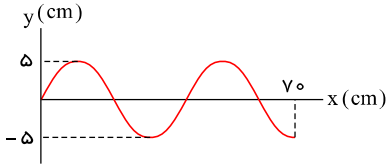
۱) $\frac{۱}{۲}$ ، ۳ ، ۳ ۲) $\frac{۱}{۲}$ ، $\frac{۱}{۲}$ ، ۱

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

۱۱. دو طناب با چگالی‌های مساوی، توسط نیروهای یکسان، به‌طور جداگانه بین دو نقطه کشیده شده‌اند و در آن‌ها امواج عرضی منتشر می‌شود. اگر قطر طناب اول ۲۵٪ بیش‌تر از قطر طناب دوم باشد، آنگاه سرعت انتشار امواج عرضی در طناب اول ..... درصد ..... از طناب دوم است.

۱) ۲۰، بیش‌تر ۲) ۳۶، بیش‌تر ۳) ۲۰، کم‌تر ۴) ۳۶، کم‌تر

۱۲. مطابق شکل زیر، نقش یک موج عرضی در یک طناب داده شده است. حداکثر سرعت نوسان هر ذره از محیط چند برابر سرعت انتشار موج است؟



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

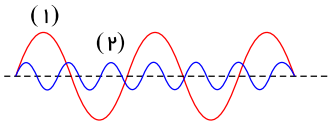
۱۳. موجی با بسامد ۲۰ هرتز و دامنه‌ی ۱ سانتی‌متر در تاری که جرم هر ۲۰ سانتی‌متر آن ۸ گرم است، منتشر می‌شود. اگر نیروی کشش تار ۱۰۰ نیوتن باشد، در مدت ۳۰ ثانیه چند ژول انرژی توسط این موج، از هر نقطه‌ی طناب منتقل می‌شود؟ $\left(\pi \simeq \sqrt{10}\right)$

۱) ۱۲ ۲) ۲۴ ۳) ۳۶ ۴) ۴۸

۱۴. موج عرضی در یک طناب در حال پیش‌روی است. اگر دامنه و بسامد موج را دو برابر کنیم، متوسط توان انتقال انرژی از هر نقطه ی طناب، در مدت زمان یک دوره چند برابر می‌شود؟ (محیط انتشار موج یکسان است)

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۸ ۴) ۱۶

۱۵. مطابق شکل زیر، دو طناب (۱) و (۲) به دو منبع ارتعاش متصل‌اند و موج در آن‌ها منتشر می‌شود. کدام یک از رابطه‌های زیر بین طول موج و بسامد موج در این دو طناب الزاماً درست است؟

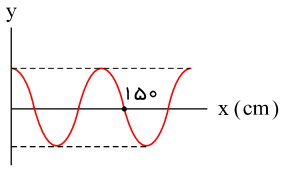


۱) $f_1 < f_2 \ , \ \lambda_1 > \lambda_2$
۲) $f_1 > f_2 \ , \ \lambda_1 < \lambda_2$
۳) فقط $f_1 < f_2$
۴) فقط $\lambda_1 > \lambda_2$

۱۶. سرعت انتشار امواج عرضی درتاری به طول L که با نیروی F کشیده می شود برابر با V است. سرعت انتشار امواج عرضی در تاری از همان جنس به طول $2L$که با نیروی $4F$کشیده شده است. چند V است؟(سطح مقطع تار ثابت فرض شود.)

۱) ۲ ۲) $\sqrt{8}$ ۳) $\sqrt{2}$ ۴) ۴

۱۷. نمودار شکل مقابل، مربوط به یک موج عرضی با بسامد ۵۰ هرتز است. این موج در تاری منتشر می‌شود که جرم هر متر آن ۵ گرم است. نیروی کشش تار چند نیوتن است؟



۱) ۹۰ ۲) ۱۸ ۳) ۲۸ ۴) ۱۴۰

۱۸. سرعت انتشار امواج عرضی در یک طناب $30\frac{m}{s}$ است. اگر بخواهیم سرعت انتشار امواج عرضی در این طناب $12\frac{m}{s}$ افزایش یابد، باید نیروی کشش طناب را چند درصد افزایش دهیم؟

۱) ۹۶ ۲) ۴۰ ۳) ۸۴ ۴) ۱۶

۱۹. سرعت انتشار امواج عرضی در یک طناب $40\frac{m}{s}$ است. اگر $\frac{1}{4}$ طول طناب را ببریم و نیروی کشش را ۵۱ درصد کاهش دهیم، سرعت انتشار موج عرضی در طناب چند متر بر ثانیه خواهد شد؟

۱) $14\sqrt{3}$ ۲) ۲۸ ۳) $\frac{56\sqrt{3}}{3}$ ۴) ۱۴

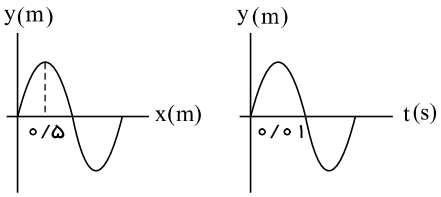
۲۰. موجی با طول موج ۸۰ سانتی‌متر و بسامد ۲۰ هرتز در یک تار منتشر می‌شود و انرژی موجود در بخشی از تار به طول ۱۶۰ سانتی‌متر برابر ۰٫۸ ژول است. توان متوسط انتقال انرژی توسط موج از یک نقطه‌ی تار در هر دوره چند وات است؟

۱) ۱۶ ۲) ۸ ۳) ۱۲ ۴) ۴

۲۱. طنابی به جرم ۶۰ گرم و طول ۷۵ سانتی‌متر بین دو نقطه‌ی ثابت با نیروی ۴۵۰ نیتون کشیده می‌شود. اگر در آن موج ایستاده‌ای ایجاد کنیم در طول طناب ۴ گره ایجاد می‌شود. بسامد نوسان‌های طناب چند هرتز است؟

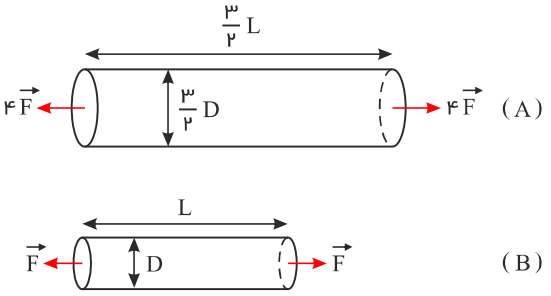
۱) ۷۵ ۲) ۱۵۰ ۳) ۲۲۵ ۴) ۳۰۰

۲۲. نقش یک موج در یک لحظهٔ خاص و نمودار بُعد – زمان یک ذره از محیط انتشار این موج مطابق شکل‌های زیر است. این موج مسافت ۱۵۰ متر را در چه مدتی برحسب ثانیه طی می‌کند؟



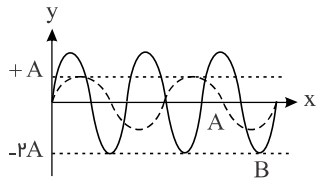
۱) ۱٫۵
۲) ۲
۳) ۲٫۵
۴) ۳

۲۳. در شکل زیر چگالی فلز A چهار برابر چگالی فلز B است. سرعت انتشار موج‌های عرضی در تار B چند برابر سرعت انتشار موج‌های عرضی در تار A است؟



۱) $\frac{۳}{۲}$
۲) $\frac{۲}{۳}$
۳) ۱۲
۴) ۶

۲۴. شکل زیر نقش دو موج را در لحظه‌ی معین در دو طناب A و B نشان می‌دهد. سرعت انتشار در دو طناب یکسان و جرم واحد طول طناب B دو برابر طناب A است. اگر متوسط توان انتقال انرژی از هر نقطهٔ طناب در مدت یک دوره $\overline{P}$ باشد، حاصل $\frac{\overline{P_A}}{\overline{P_B}}$ کدام است؟

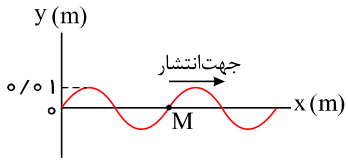


۱) $\frac{۱}{۱۸}$
۲) $\frac{۹}{۳۲}$
۳) $\frac{۹}{۱۶}$
۴) $\frac{۱}{۹}$

۲۵. یک موج عرضی در تار منتشر می‌شود. اگر دامنه‌ی منبع ۳ برابر، بسامد منبع ۵ برابر و نیروی کشش تار ۴ برابر شود، طول موج چند برابر می‌شود؟

۱) $\frac{۲}{۱۵}$ ۲) $\frac{۶}{۵}$ ۳) $\frac{۲}{۵}$ ۴) $\frac{۴}{۵}$

۲۶. شکل زیر نقش یک موج را که در جهت مثبت محور x منتشر می‌شود، در یک لحظه نشان می‌دهد. اگر دورهٔ نوسان‌های موج ۰٫۲ ثانیه باشد، بزرگی سرعت نوسان نقطهٔ M از طناب در این لحظه چند $\frac{m}{s}$ است؟ $(\pi = ۳٫۱۴)$



۱) ۰٫۳۱۴
۲) ۶٫۲۸
۳) ۰٫۱۵۷
۴) صفر

۲۷. در یک تار مرتعش با دو انتهای ثابت به طول $۴۰cm$، در هنگام تولید صوت ۵ گره ایجاد شده است. اگر سرعت انتشار موج در تار برابر $۵۰\frac{m}{s}$ باشد، در این صورت هر نقطه از تار (به جز گره‌ها) در مدت ۲٫۵ ثانیه چند نوسان کامل انجام می‌دهند؟

۱) ۲۵۰ ۲) ۶۲۵ ۳) ۷۸۰ ۴) ۳۱۲٫۵

۲۸. در یک طناب همگن که با نیروی $۲۰N$ کشیده شده است، موجی عرضی در حال انتشار است. اگر جرم هر ۱۰ متر از طناب برابر $۲kg$ و فاصلهٔ هر قلّه از درّهٔ مجاورش برابر با $۱۰cm$ باشد، بسامد موج در طناب چند هرتز است؟

۱) ۲۵ ۲) ۵۰ ۳) ۷۵ ۴) ۱۰۰

۲۹. سرعت انتشار یک موج عرضی در یک طناب برابر $۲۰\frac{m}{s}$ است. اگر نیروی کشش ۶۹ درصد افزایش یابد، سرعت انتشار موج در همان طناب چند متر بر ثانیه زیاد می‌شود؟

۱) ۴ ۲) ۶ ۳) ۳ ۴) ۸

۳۰. طناب سنگینی در راستای قائم آویزان است. محل آویز را به ارتعاش درمی‌آوریم تا در طناب موج عرضی با بسامد f منتشر شود. اگر بسامد و طول موج در نقطهٔ A را با f_A و λA و بسامد و طول موج در نقطهٔ B را با f_B و λ_B نشان دهیم، در این صورت کدام‌یک از عبارت‌های زیر صحیح است؟

۱) $\lambda A = \lambda B, f_A = f_B$
۲) $\lambda A > \lambda B, f_A = f_B$
۳) $\lambda A > \lambda B, f_A > f_B$
۴) $\lambda A = \lambda B, f_A < f_B$

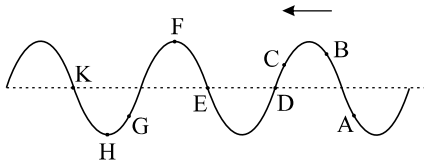
۳۱. تابع موجی عرضی در یک سیم که شعاع مقطع آن ۲ میلی‌متر و چگالی آن $۶\frac{g}{cm^۳}$ است، در SI به صورت $u_y = ۰/۰۴\sin(۶۰t - ۳x)$ می‌باشد. اندازهٔ نیروی کشش سیم چند نیوتون است؟ $(\pi = ۳)$

۱) ۷/۲ ۲) ۱۴/۴ ۳) ۱۱۵/۲ ۴) ۲۸/۸

۳۲. اگر نیروی کشش تار مرتعشی را ۴ برابر کنیم و مساحت سطح مقطع آن را ۳۶ درصد کاهش دهیم، سرعت انتشار امواج عرضی در تار در این حالت چند برابر می‌شود؟

۱) ۰/۶۴ ۲) ۱/۶ ۳) ۲/۵ ۴) ۰/۵

۳۳. شکل زیر، یک موج عرضی سینوسی را در یک لحظهٔ مشخص نشان می‌دهد. در این لحظه، حرکت چند ذره، رو به بالا و تندشونده است؟



۱) یک ذره
۲) دو ذره
۳) سه ذره
۴) چهار ذره

۳۴. تندی انتشار موجی عرضی در یک تار $۱۰۰m/s$ است. اگر اندازهٔ نیروی کشش تار را ۴۴ درصد افزایش دهیم، تندی انتشار موج عرضی در تار چند متر بر ثانیه تغییر می‌کند؟

۱) ۲۰ ۲) −۴۴ ۳) ۴۴ ۴) −۲۰