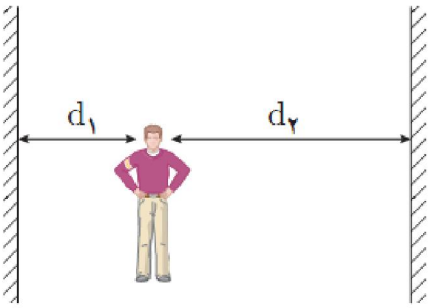
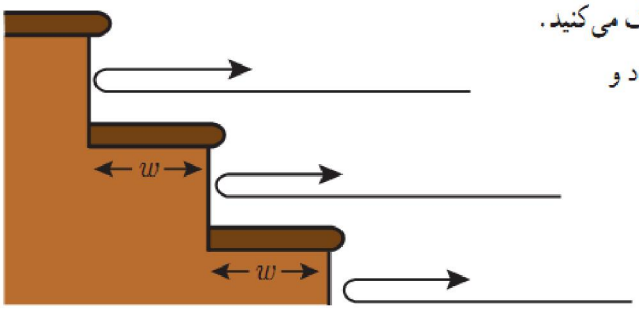
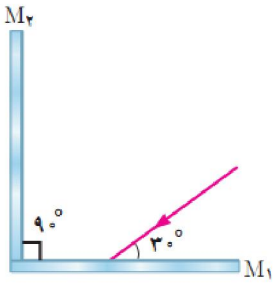
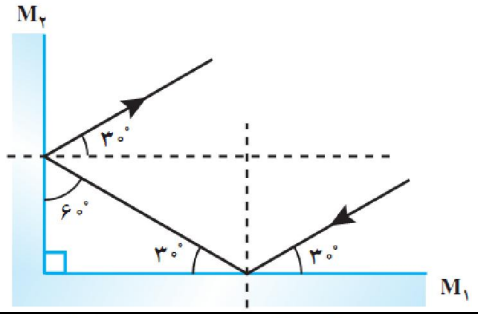
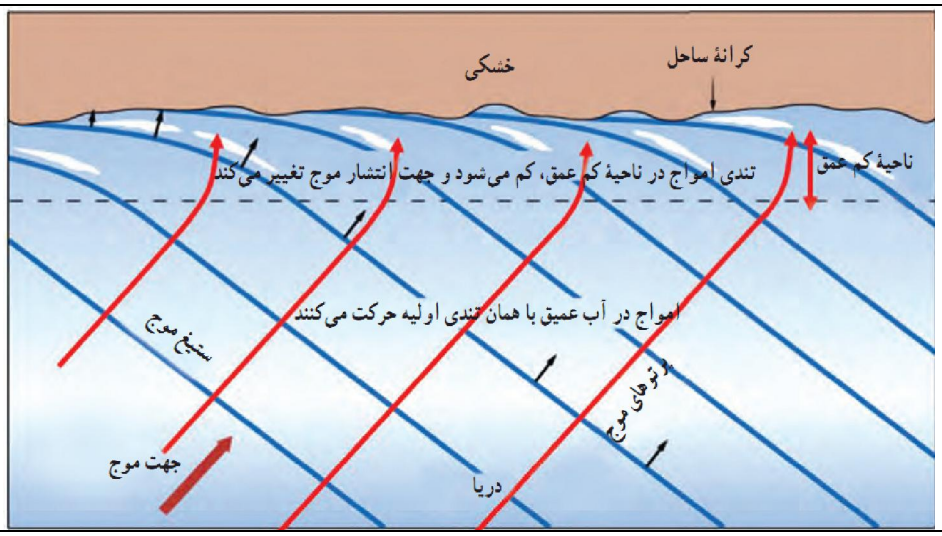
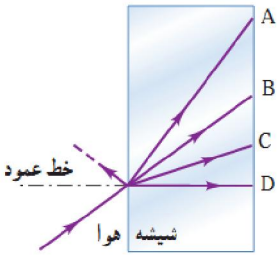
۱	دانش‌آموزی بین دو صخرهٔ قائم ایستاده است و فاصلهٔ او از صخرهٔ نزدیک‌تر ۲۴۰m است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از ۱/۵۰s و صدای پژواک دوم را ۱/۰۰s بعد از پژواک اول می‌شنود. الف) تندی صوت در هوا چقدر است؟ ب) فاصلهٔ بین دو صخره را بیابید.
ج	 (الف) $v=\frac{۲d_۱}{t_۱}=\frac{۴۸۰\text{m}}{۱/۵۰\text{s}}=۳۲۰\text{m/s}$ (ب) $d_۲=\frac{vt_۲}{۲}=\frac{(۳۲۰\text{m/s})(۲/۵۰\text{s})}{۲}=۴۰۰\text{m}$ پس فاصلهٔ بین دو صخره $d=d_۱+d_۲=۶۴۰\text{m}$ است.
۲	اگر در فاصلهٔ مناسبی از یک رشته پلکان بلند بایستید و یک‌بار کف بزنید، پژواکی بیشتر از یک صدای برهم زدن دست می‌شنوید. نمونهٔ جالبی از این پدیده در برابر رشته پله‌های معبد قدیمی *کوکولکان*[۱] در مکزیک رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پلهٔ سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین پژواکی توضیح دهید.
ج	اگر فاصلهٔ شما از پلکان به حدّ کافی زیاد باشد، به‌طوری که بتوان مانند شکل زیر مسیر تپ‌های متوالی را تقریباً موازی در نظر گرفت، شما بسامد ثابتی برای رشته تپ‌های متوالی درک می‌کنید. این صدا به‌صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها بازمی‌گردد و مانند یک نُت نواخته شده درک می‌شود. 
۳	وقتی یک باریکهٔ لیزر را به دیوار کلاس می‌تابانیم، همهٔ دانش‌آموزان نقطهٔ رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟
ج	همان‌طور که در متن کتاب اشاره شد، این ناشی از بازتاب پخشنده است.
۴	در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت $M_۱$ و $M_۲$ را رسم کنید. 
ج	
۵	با رسم شکلی از جبهه‌های موج توضیح دهید چگونه جهت انتشار جبهه‌های موج با رسیدن به یک ساحل شیب‌دار، تغییر می‌کند.

ج



۶

شکل زیر پرتویی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A تا D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟



ج

بنابراین پرتوی A نمی‌تواند درست باشد، زیرا از خط عمود دور شده است.

پرتوی B نیز پاسخ درستی نیست، زیرا این پرتو خم نشده است و در امتداد پرتوی فرودی است.

پرتوی C پاسخ درست است زیرا به سمت خط عمود کج شده است.

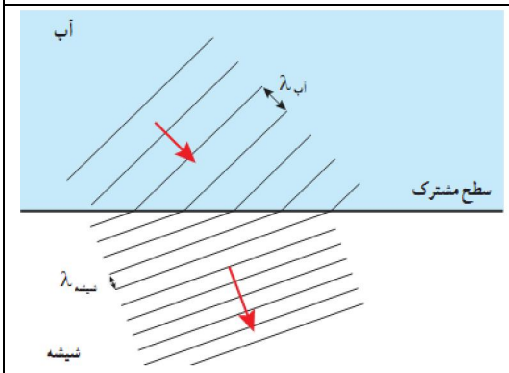
ولی چرا پرتوی D نادرست است. توجه کنید که برای این پرتو، زاویهٔ شکست $\theta_r=0^\circ$ است و بنابراین $\sin\theta_r=0$ خواهد که این قانون اسنل را نقض می‌کند که در اینجا بیان می‌دارد $n_1\sin\theta_i=n_2\sin\theta_r$.

۷

ضریب شکست آب ۱/۳ و ضریب شکست شیشه ۱/۵ است. اگر نوری به‌طور مایل از آب به مرز شیشه با آب بتابد، با رسم نموداری، جبهه‌های موج را در دو محیط نشان دهید.

ج

شکلی مطابق شکل زیر خواهیم داشت (البته در این شکل فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در دو محیط به مقیاس نیست، ولی در هر حال $\lambda_{\text{آب}} > \lambda_{\text{شیشه}}$ است).



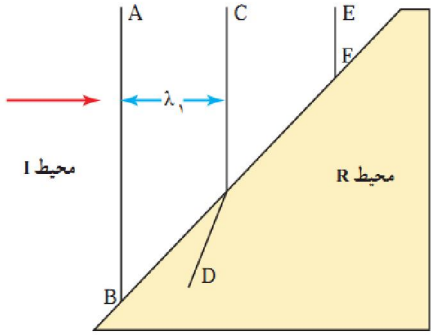
۸

شکل زیر جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند.

الف) ادامهٔ جبههٔ موج EF را در محیط R رسم کنید.

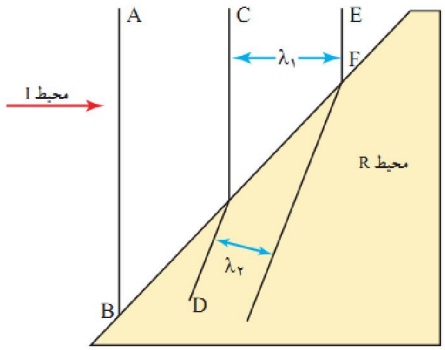
ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیشتر است.

پ) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟



ج

الف)



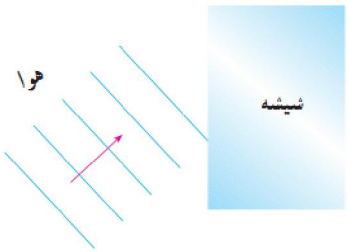
ب) از روی شکل درمی‌یابیم که $\lambda_2 < \lambda_1$ و بنابراین $v_2 < v_1$ است.

پ) با عبور موج از محیطی به محیط دیگر، بسامد موج تغییر نمی‌کند. بنابراین نسبت $\frac{v}{\lambda}$ ثابت می‌ماند و داریم

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

۹

در شکل زیر موج نوری فرودی از هوا وارد شیشه می‌شود. بخشی از موج در سطح جدایی دو محیط بازمی‌تابد و بخشی دیگر شکست می‌یابد و وارد شیشه می‌شود.



الف) مشخصه‌های موج بازتابیده و موج شکست‌یافته را با موج فرودی مقایسه کنید.

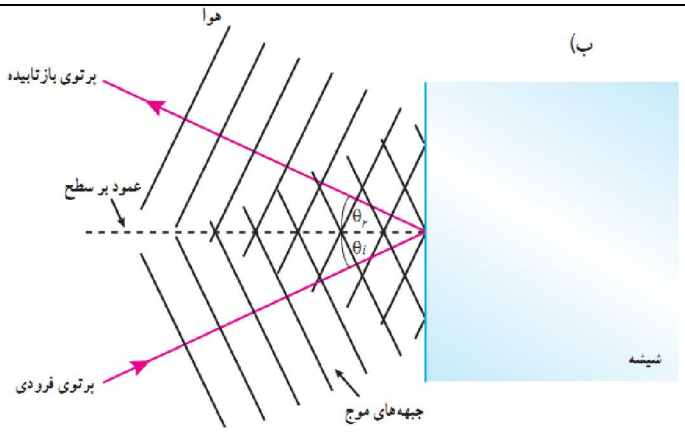
ب) جبهه‌های موج بازتابیده و شکست‌یافته را رسم کنید.

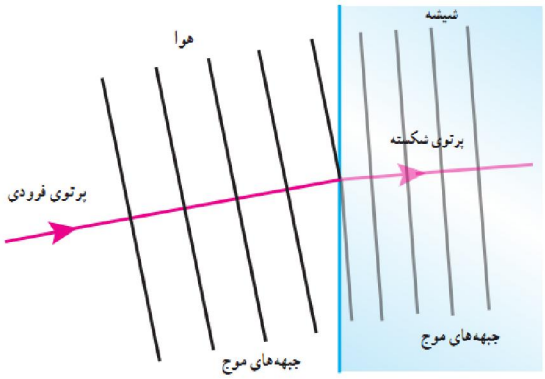
ج

الف) برای موج شکسته، به جز بسامد سایر مشخصه‌ها با موج فرودی متفاوت است. چرا که تندی و طول موج تغییر می‌کنند و این دو به ضریب شکست بستگی دارند.

در حالی که برای موج بازتابیده، بسامد، طول موج و تندی با موج فرودی برابر است.

ب)





۱۰

طول‌موج نور قرمز لیزر هلیم ــ نئون در هوا حدود ۶۳۳nm است، ولی در زجاجیهٔ چشم ۴۷۴nm است. الف) بسامد این نور چقدر است؟ ب) ضریب شکست زجاجیه برای این نور چقدر است؟ پ) تندی این نور در زجاجیه را محاسبه کنید.

ج

الف) $f=\frac{v}{\lambda}=\frac{c}{\lambda_0}=\frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۶۳۳\times۱۰^{-۹}\,m}=۴/۷۳۹\times۱۰^{۱۴}\,Hz\approx۴/۷۴\times۱۰^{۱۴}\,Hz$

ب) $n=\frac{\lambda_0}{\lambda}=\frac{۶۳۳\times۱۰^{-۹}\,m}{۴۷۴\times۱۰^{-۹}\,m}=۱/۳۳۵\approx۱/۳۴$

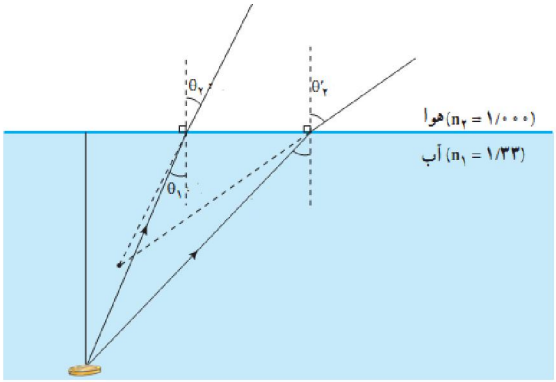
پ) $v=\frac{c}{n}=\frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۱/۳۳۵}=۲/۲۴۷\times۱۰^{۸}\,m/s\approx۲/۲۵\times۱۰^{۸}\,m/s$

۱۱ سکه‌ای را در گوشهٔ فنجانی خالی قرار دهید و طوری مقابل آن قرار گیرید که نتوانید سکه را ببینید. سپس بی‌آنکه سرتان را حرکت دهید به‌آرامی در فنجان آب بریزید، به‌طوری که آب ریختن شما موجب جابه‌جایی سکه نشود. با پرشدن فنجان، سکه را خواهید دید. با رسم پرتوها علت دیده شدن سکه را توضیح دهید.

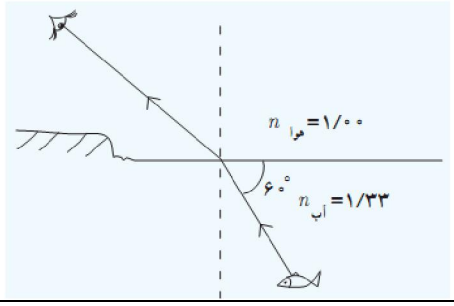
ج

به دلیل شکسته شدن پرتوها و ورود آنها از محیطی با ضریب شکست بیشتر به محیطی با ضریب شکست کمتر، آنها در محل خروج از سطح آب، از خطّ عمود دور می‌شوند و این طور به نظر می‌رسد که امتداد آنها در نقطه‌ای بالاتر از کف فنجان همدیگر را قطع می‌کنند

همین باعث می‌شود عمق فنجان را کمتر ببینیم.



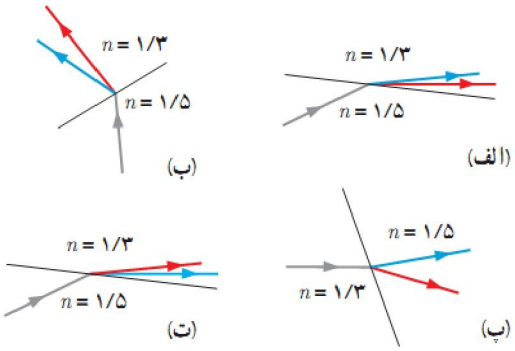
۱۲ مطابق شکل، پرتو نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد تحت زاویهٔ ۶۰° به مرز آب ــ هوا برخورد کرده است. زاویهٔ شکست این پرتو در هوا چقدر است؟



ج

$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$ $\quad \sin\theta_2=\frac{n_1\sin\theta_1}{n_2}=\frac{(۱/۳۳)\sin۳۰^\circ}{۱/۰۰}=۰/۶۶۵$ $\quad \theta_2=۴۱/۷^\circ\approx۴۲^\circ$

۱۳ در شکل‌های زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای قرمز و آبی است در سطح مشترک دو ماده شکست پیدا کرده‌اند. کدام شکل، شکستی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



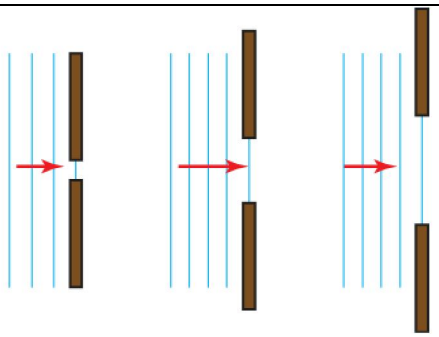
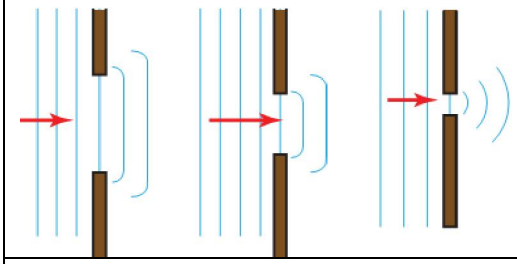
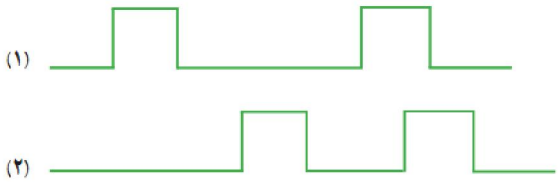
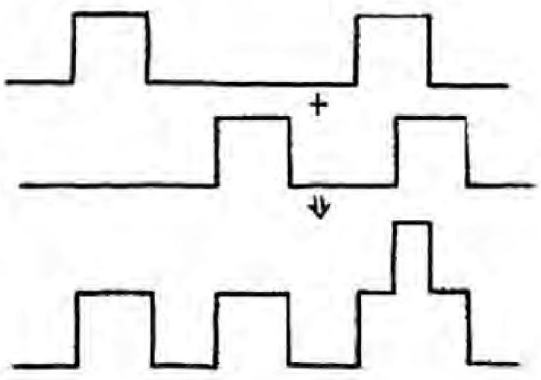
ج

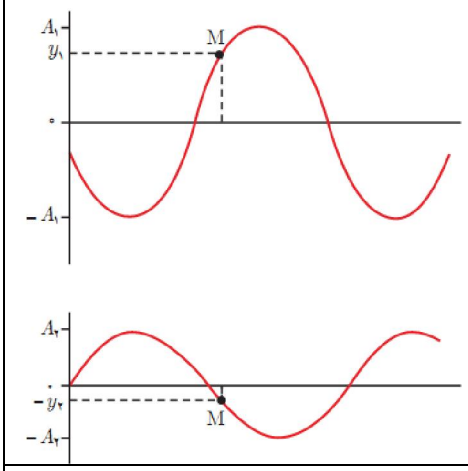
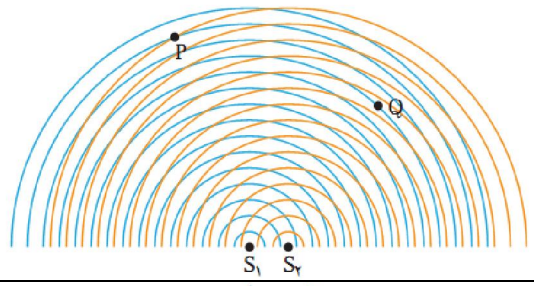
شکل الف) نادرست است. پرتوی آبی باید بیشتر از پرتوی قرمز شکست پیدا کند

شکل (ب) نادرست است. پرتوی قرمز تقریبا در امتداد خط عمود و پرتوی ابی در سمت نادرست (سمت چپ خطّ عمود) است

شکل (پ) نادرست است. پرتوی آبی به خطّ عمود نزدیک شده است

بنابراین پاسخ درست، (ت) است.

۱۴	دو دانش‌آموز به نور زرد نگاه می‌کنند. یکی از آنها نور زرد را ترکیب دو نور قرمز و سبز و دیگری آن را از یک نوع رنگ می‌داند. به نظر شما با چه تجربه‌ای می‌توان بین این دو نظر، یکی را انتخاب کرد؟
ج	با استفاده از یک منشور به‌سادگی می‌توانیم بین این دو نظر، یکی را انتخاب کنیم. اگر نور زرد، ترکیبی باشد در منشور تجزیه می‌شود و می‌توانیم نورهای قرمز و سبز را مشاهده کنیم.
۱۵	در یک تشت موج، مطابق شکل زیر، موج تختی ایجاد شده است. توضیح دهید با باریک‌کردن شکاف‌ها چه شکلی برای جبهه‌های موج خروجی از آنها حاصل می‌شود. 
ج	با باریک کردن پهنای شکاف، پدیدهٔ پراش به‌طور بارزتری خود را نشان می‌دهد و موجی که از شکاف خارج می‌شود از حالت موج تخت بیشتر خارج می‌شود و در حالتی که پهنای شکاف در حدود طول موج باشد موج‌های تخت به‌صورت امواج نیم‌دایره‌ای گسترده می‌شوند. 
۱۶	گوشی‌های همراه با امواج رادیویی با بسامد حدود ۲GHz کار می‌کنند. توضیح دهید این امواج تحت چه شرایطی از موانع پراشیده می‌شوند و به منطقهٔ سایهٔ مانع می‌رسند.
ج	نخست طول موج این امواج را محاسبه می‌کنیم : $\lambda = v/f = \frac{c}{f} = \frac{۳/۰۰\times۱۰^{۸}\,m/s}{۲\times۱۰^{۹}\,s^{-۱}} = ۰/۱۵m$ این امواج از اجسامی به قطری حدود ۱۵cm یا کوچک‌تر، به خوبی پراشیده می‌شوند.
۱۷	در شکل‌های زیر، وقتی موج ۱ بر موج ۲ برهم نهاده شود شکل موج برهم‌نهاده را رسم کنید. 
ج	

۱۸	شکل‌های زیر نمودار جابه‌جایی ــ مکان دو موج را در لحظهٔ معیّنی نشان می‌دهد. جابه‌جایی برایند نقطهٔ M در این لحظه چقدر است؟ 
ج	جابه‌جایی کل، جمع برداری هر جابه‌جایی مجزا است. چون جابه‌جایی‌های نقطهٔ M در جهت‌های مخالف هم هستند، جمع برداری آنها برابر y_1-y_2 می‌شود که چون $y_1>y_2$ است، مقداری مثبت است.
۱۹	دو چشمهٔ نقطه‌ای S_1 و S_2 به‌طور هم‌زمان، با بسامد یکسان، و همگام با یکدیگر در یک تشت موج نوسان می‌کنند و جبهه‌های موجی را مطابق شکل زیر به‌وجود می‌آورند. توضیح دهید دامنهٔ موج برایند در نقطه‌های P و Q چگونه است؟ 
ج	در نقطهٔ P قله (ستیغ) موج‌ها همدیگر را قطع کرده‌اند و برهم نهاده شده‌اند و بنابراین تداخل کاملاً سازنده و دامنهٔ موج برایند بیشینه است. اما در نقطهٔ Q قله (ستیغ) یک موج با درّه (پاستیغ) موج دیگر تلاقی کرده است (توجه کنید که Q بر یک منحنی آبی و در میان دو منحنی قرمز است) و بنابراین همدیگر را تضعیف می‌کنند و دامنه کمینه است.
۲۰	در آزمایش تداخل صوتی (شکل ۴ــ۳۱ کتاب)، فاصلهٔ بین هر نقطهٔ با صدای بالا (L) تا نقطهٔ با صدای ضعیف (S) مجاورش، متناسب با طول‌موج موج صوتی به‌کار رفته در این آزمایش است. برای آنکه این آزمایش به‌سادگی انجام‌پذیر باشد باید فاصلهٔ نقطه‌های S و L مجاور نه خیلی زیاد، و نه خیلی کم باشد. الف) بسامد صوت گسیل‌شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور به‌هم نزدیک شوند؟ ب) بسامد صوت گسیل‌شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور از هم دور شوند؟
ج	الف) چون فاصلهٔ نقطه‌های S و L متناسب با طول موج به‌کار رفته است، بنابراین برای آنکه نقطه‌های S و L به هم نزدیک باشند باید طول موج به کار رفته کوچک باشد. با توجه به اینکه $f=v/\lambda$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با افزایش بسامد صوت است. ب) برای آنکه نقطه‌های S و L از هم دور شوند باید طول موج به‌کار رفته بزرگ باشد. با توجه به اینکه $f=v/\lambda$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با کاهش بسامد صوت است.
۲۱	در آزمایش یانگ، الف) اگر آزمایش را به‌جای نور تکفام سبز با نور تکفام قرمز انجام دهیم پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟ ب) اگر آزمایش را به‌جای آنکه در هوا انجام دهیم، در آب انجام‌دهیم، پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟
ج	الف) پهنای نوارهای تداخلی در آزمایش یانگ متناسب با طول موج به‌کار رفته است. بنابراین با افزایش طول موج، پهنای نوارها زیاد می‌شود. پس پهنای نوارها با استفاده از نور تکفام قرمز به جای نور تکفام سبز، افزایش می‌یابد. ب) چون پهنای نوارهای تداخلی با طول موج به‌کار رفته متناسب است، با توجه به اینکه در حضور اب طول موج به λ/n تغییر پیدا می‌کند و کم می‌شود، بنابراین طول موج به‌کار رفته کاهش می‌یابد که این به معنای کاهش پهنای نوارها است.

۲۲

تاری که بین دو تکیه‌گاه محکم شده است در هماهنگ اول خود با بسامد f به نوسان درمی‌آید. شکل زیر جابه‌جایی تار در $t=0$ را نشان می‌دهد.

الف) جابه‌جایی تار را در $t=\frac{1}{4f}$ و $t=\frac{1}{2f}$ رسم کنید.

ب) فاصلهٔ بین تکیه‌گاه‌ها $1/0\,m$ است. اگر تندی موج عرضی در تار $240\,m/s$ باشد، بسامد نوسان تار چقدر می‌شود؟

ج

الف)

ب) از $v=f\lambda$ استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه $\frac{\lambda}{2}=1/0\,m$ است، خواهیم داشت :

$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{240\,m/s}{2/0\,m}=1/2\times10^{2}\,s^{-1}=1/2\times10^{2}\,Hz=120\,Hz$$

۲۳

تار ویولنی که طول آن $15/0\,cm$ است و در دو انتها بسته شده است، در مُد $n=1$ خود نوسان می‌کند. تندی موج عرضی در این تار $250\,m/s$ و تندی صوت در هوا $348\,m/s$ است.

الف) بسامد و ب) طول‌موجِ امواج صوتی گسیل‌شده از تار چقدر است؟

ج

الف) $f_1=\frac{v}{2L}=\frac{(1)(250\,m/s)}{2(0/150\,m)}=833/3\,Hz\approx833\,Hz$ $\qquad f_n=\frac{nv}{2L}$

ب) $\lambda=\frac{v}{f}=\frac{348\,m/s}{833/3\,s^{-1}}=0/4176\,m\approx0/418\,m$

۲۴

اگر بسامد اصلی یک تار ویولن به جرم $800\,mg$ و طول $22/0\,cm$ برابر $920\,Hz$ باشد،

الف) تندی موج عرضی در این تار را به دست آورید. ب) کشش تار چقدر است؟

پ) برای بسامد اصلی، طول‌موجِ موج عرضی در تار و طول‌موجِ امواج صوتی گسیل شده توسط تار چقدر است؟ تندی صوت در هوا را $340\,m/s$ بگیرید.

ج

الف) $\lambda=2L \qquad f=v/\lambda=v/2L$

$$v=2Lf=2(0/220\,m)(920\,Hz)=404/8\,m/s\approx405\,m/s$$

ب) تندی موج با $v=\sqrt{F/\mu}$ داده می‌شود که در آن $\mu=m/L$ است. بنابراین کشش تار چنین می‌شود :

$$F=\mu v^{2}=\left(\frac{m}{L}\right)v^{2}=\left(\frac{800\times10^{-6}\,kg}{22/0\times10^{-2}\,m}\right)(404/8\,m/s)^{2}=0/5959\,N\approx0/596\,N$$

پ) $\lambda=2L=2(0/220\,m)=0/440\,m$

۲۵

تار ویولنی به طول $30/0\,cm$ و چگالی خطی جرمی $0/650\,g/m$ در نزدیکی بلندگویی قرار داده شده است که توسط یک نوسان‌ساز صوتی با بسامد متغیر به‌کار می‌افتد. معلوم شده است وقتی بسامد نوسان‌ساز در گسترهٔ $500-1500\,Hz$ تغییر می‌کند تار فقط هنگامی به نوسان در می‌آید که بسامد آن $880\,Hz$ و $1320\,Hz$ باشد.

الف) چه پدیده‌ای سبب به نوسان درآمدن تار شده است؟ ب) بسامد اصلی تار چقدر است؟ پ) کشش تار چقدر است؟

ج

الف) تشدید باعث به نوسان در آمدن تار می‌شود. به عبارتی وقتی $f=v/\lambda$ برابر با یکی از بسامدهای نوسان‌ساز باشد، این پدیده رخ می‌دهد.

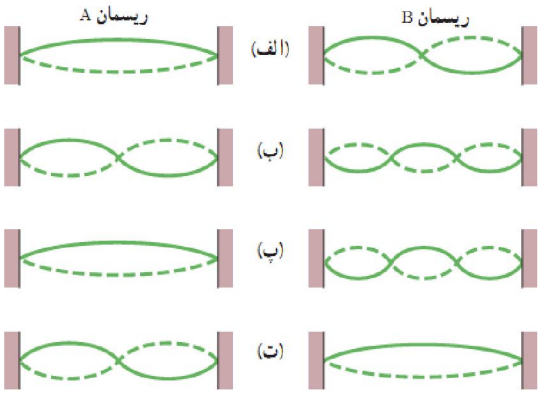
ب) $f_{n+1}-f_n = ۱۳۲۰\text{Hz}-۸۸۰\text{Hz}=۴۴۰\text{Hz}$ بسامد اصلی نوسان $f_{n+1}-f_n=\frac{(n+1)v}{۲L}-\frac{nv}{۲L}=\frac{v}{۲L}$

پ) در بالا ثابت کردیم $f_{n+1}-f_n=v/۲L$ ، که در آن $v=\sqrt{F/\mu}$ است. بنابراین $f_{n+1}-f_n=\frac{۱}{۲L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$

$F=۴L^۲\mu\,(f_{n+1}-f_n)^۲=۴(۰/۳۰۰)^۲(۰/۶۵۰\times۱۰^{-۳})(۱۳۲۰-۸۸۰)^۲=۴۵/۳\text{N}$

۲۶

ریسمان‌های A و B، طول و چگالی خطی جرمی یکسانی دارند، ولی ریسمان B تحت کشش بیشتری نسبت به ریسمان A قرار دارد. شکل زیر چهار وضعیت (الف) تا (ت) را نشان می‌دهد که در آنها نقش‌های موج ایستاده در دو ریسمان وجود دارند. در کدام وضعیت‌ها، احتمال دارد که ریسمان‌های A و B در بسامد تشدیدی یکسانی نوسان کنند؟



ج

چون ریسمان B تحت کشش بیشتری نسبت به ریسمان A قرار دارد، تندی موج در این ریسمان بیشتر است، زیرا هر دو ریسمان چگالی خطی جرمی یکسانی دارند. پس طبق رابطهٔ $f_n=nv/۲L$، با توجه به اینکه طول دو ریسمان یکسان است، درمی‌یابیم تنها در شکل (ت) که ریسمان B در هماهنگ اول و ریسمان A در هماهنگ دوم در نوسان است این امکان وجود دارد که ریسمان‌ها در بسامدهای تشدیدی یکسانی باشند.

۲۷

در یک تار دو سر بسته، یکی از بسامدهای تشدیدی ۳۲۵Hz، و بسامد تشدیدی بعدی ۳۹۰Hz است. بسامد تشدیدی پس از ۱۹۵Hz این تار چیست؟

ج

تفاضل دو بسامد نوسان متوالی تار برابر با بسامد اصلی نوسان تار است. بنابراین $f=(۳۹۰\text{Hz}-۳۲۵\text{Hz})=۶۵\text{Hz}$

پس بسامد هماهنگ بعدی پس از ۱۹۵Hz برابر با ۱۹۵Hz + ۶۵Hz = ۲۶۰Hz است.

۲۸

رشته‌ای از بسامدهای تشدیدی یک تار با دو انتهای بسته‌عبارت‌اند از : ۱۵۰Hz، ۲۲۵Hz، ۳۰۰Hz، و ۳۷۵Hz. در این رشته یک بسامد (کمتر از ۴۰۰Hz) جا افتاده است.

الف) این بسامد کدام است؟ ب) بسامد هماهنگ هفتم چقدر است؟

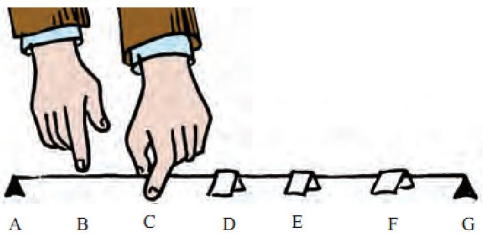
ج

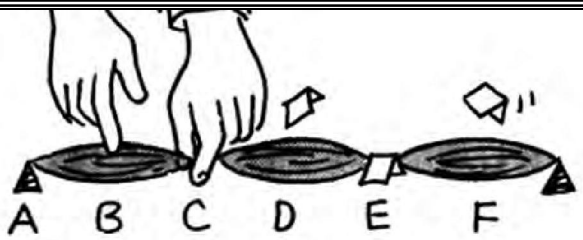
الف) بسامد مورد نظر همان ۷۵Hz است.

ب) $f_v=۷(۷۵\text{ Hz})=۵۲۵\text{ Hz}$

۲۹

در شکل نشان داده شده، نقاط A، B، C، D، E، F، و G در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. تار را در نقطهٔ C به آرامی می‌گیریم، طوری که نوسان‌های بخشی از تار که سمت چپ نقطهٔ C است، بتواند به سمت راست این نقطه منتقل شود. اکنون تار را در نقطهٔ B می‌نوازیم. بدین ترتیب موج ایستاده‌ای در طول تار تشکیل می‌شود، به‌طوری که در نقطه‌های A و C گره و در نقطهٔ B شکم آن قرار دارد. به گمان شما برای کاغذهای تاشده‌ای که در نقاط D، E، و F قرار دارند، چه رخ می‌دهد؟



ج	 نقطه‌های A، C، E و G گره‌ها و نقطه‌های B، D و F شکم‌ها می‌شوند. بنابراین کاغذهای تاشده در نقطه‌های D و F به هوا برمی‌خیزند، در حالی که کاغذ واقع در E، در جای خود ثابت می‌ماند.
۳۰	وقتی گالن آبی را خالی می‌کنیم، باخالی شدن آب صدای گلوپ گلوپی را می‌شنویم. موقع خالی شدن گالن بسامد این صدا کمتر می‌شود (صدای بَم‌تر) یا بیشتر (صدای زیرتر)؟ چرا؟
ج	در هنگام خالی شدن گالن، حجم فضای هوای داخل آن افزایش می‌یابد. هرچه فضای هوای خالی افزایش یابد، اندازهٔ بسامدهای تشدیدی کمتر می‌شوند (این بسامدها با طول ستون هوا نسبت معکوس دارند.)
۳۱	در گذشته برای آگاه کردن کشتی‌ها از خطر صخره‌ها، در صدف‌های حلزونی می‌دمیدند. امروزه بیشتر برای جشن‌ها و شادی‌ها در آنها می‌دمند. چگونه این صدف‌ها می‌توانند چنین صدایی ایجاد کنند؟
ج	با دمیدن صدف حلزونی، لب‌ها به نوسان درمی‌آیند نوسان لب‌ها در درون‌صدف، امواجی صوتی را با همان بسامدهای نوسان لب به وجود می‌آورد. اگر برخی از این امواج با یکی از بسامدهای تشدید صدف منطبق شوند، در این صورت یک موج صوتی قوی را ایجاد می‌کنند.