نام دبیر : مهدی باباخانی

عنوان آزمون : پاسخ تمرینات کتاب درسی

فصل ۴ ریاضی برهمکنش امواج

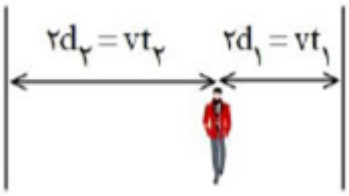
۱ دانش‌آموزی بین دو صخره‌ی قائم ایستاده است و فاصله‌ی او از صخره‌ی نزدیک‌تر $۲۴۰m$ است. دانش‌آموز فریاد می‌زند و اولین پژواک صدای خود را پس از $۱/۵۰s$ و صدای پژواک دوم را $۱/۰۰s$ بعد از پژواک اول می‌شنود.

الف) تندی صوت در هوا چه‌قدر است؟

ب) فاصله‌ی بین دو صخره را بیابید.

پاسخ: ۱

الف) $۲d_۱ = vt_۱ \Rightarrow v = \frac{۲d_۱}{t_۱} = \frac{۴۸۰m}{۱/۵s} = ۳۲۰\frac{m}{s}$



ب) $d_۲ = \frac{vt_۲}{۲} = \frac{\left(۳۲۰\frac{m}{s}\right) \times (۲/۵s)}{۲} = ۴۰۰m$

$d = d_۱ + d_۲ = ۴۰۰m + ۲۴۰m = ۶۴۰m$

۲ اگر در فاصله‌ی مناسبی از یک رشته پلکان بلند بایستید و یک بار کف بزنید، پژواکی بیش‌تر از یک صدای برهم زدن دست می‌شنوید. نمونه‌ی جالبی از این پدیده در برابر رشته پله‌های معبد قدیمی کوکولکان در مکزیک رخ می‌دهد. این معبد از ۹۲ پله‌ی سنگی تشکیل شده است. در مورد چنین پژواکی توضیح دهید.



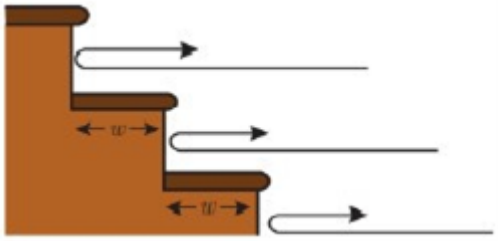
تصویری از معبد کوکولکان

پاسخ: ۱ اگر فاصله از پلکان به حد کافی زیاد باشد، به طوری‌که بتوان مانند شکل زیر مسیر تپ‌های متوالی را تقریباً موازی درنظر گرفت، تقریباً بسامد ثابتی برای رشته تپ‌های متوالی درک می‌کنید.

$$f = \frac{۱}{\Delta t} = \frac{v}{۲w}$$

این صدا به صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها بازمی‌گردد و مانند یک نت نواخته شده درک می‌شود. بدیهی است اگر پهنای پله‌ها کوچک‌تر باشد، با توجه به این‌که $f \alpha \frac{۱}{W}$ است، بسامد ادراک شده بیش‌تر می‌شود.

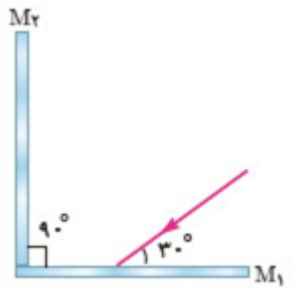
مسیر تپ‌های متوالی که هر کدام از یک پله نشأت گرفته‌اند، موازی نیست و بسامد ثابتی را برای رشته تپ‌های متوالی درک نمی‌کنید. بلکه گستره‌ای از بسامدها را درک می‌کنید که به تدریج کم می‌شوند. به طوری‌که بسامد دریافتی از پله‌های پایینی (که تپ‌های بازتابیده از آن‌ها را زودتر می‌شنویم) بیش‌تر از بسامد دریافتی از پله‌های بالایی است (که تپ‌های بازتابیده از آن‌ها را دیرتر می‌شنویم) و بدین ترتیب صدا را به صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها می‌شنوید.



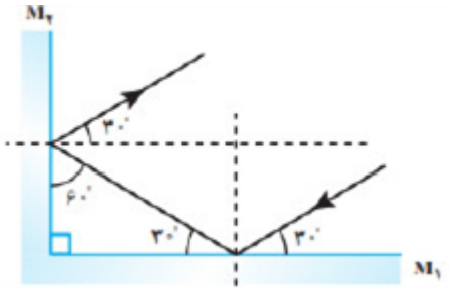
۳ وقتی یک باریکه‌ی لیزر را به دیوار کلاس می‌تابانیم، همه‌ی دانش‌آموزان نقطه‌ی رنگی ایجاد شده روی دیوار را می‌بینند. دلیل آن چیست؟

پاسخ: ۱ ناشی از بازتاب پخشنده است.

۴ در شکل زیر پرتوهای بازتابیده از آینه‌های تخت M_1 و M_2 را رسم کنید.

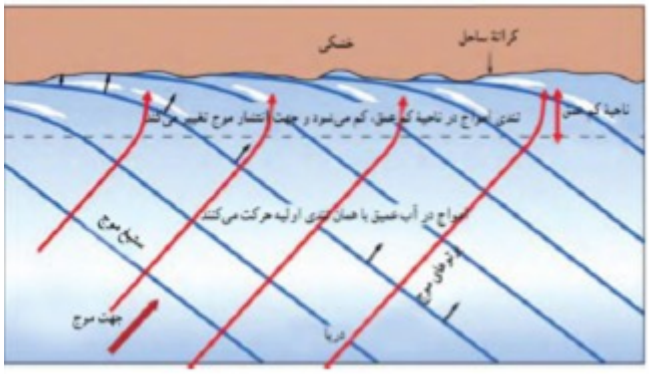


پاسخ: ۱

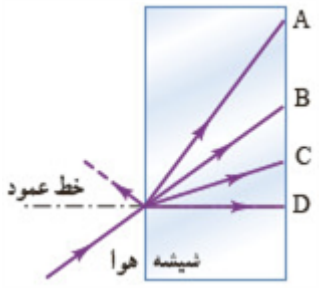


۵ با رسم شکلی از جبهه‌های موج توضیح دهید چگونه جهت انتشار جبهه‌های موج با رسیدن به یک ساحل شیب‌دار، تغییر می‌کند.

پاسخ: ۱ با نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیبدار و رسیدن جبهه‌های موج به ساحل که در آن‌جا عمق آب کم می‌شود، جهت انتشار موج تغییر می‌کند. به عبارتی، با ورود امواج از ناحیه عمیق به ناحیه‌ی کم‌عمق، تندی آن‌ها کم می‌شود.



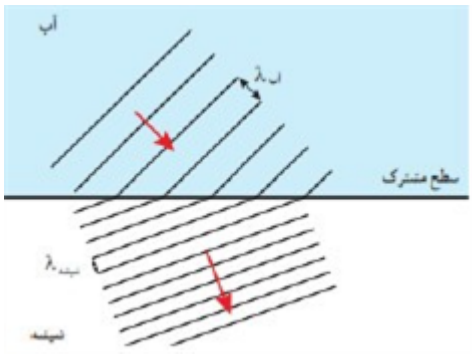
۶ شکل روبه‌رو پرتویی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A تا D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟



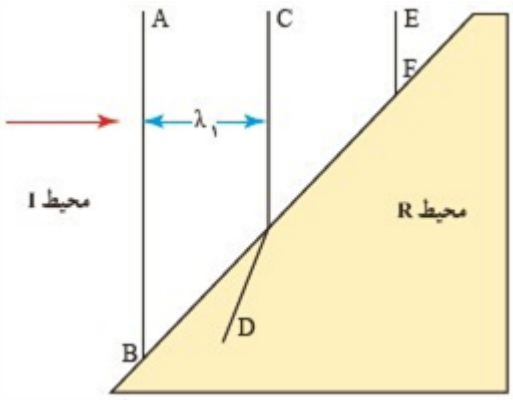
پاسخ: ۱ شیشه ضریب شکست بزرگ‌تری نسبت به هوا دارد. پرتو شکسته شده در شیشه به خط عمود نزدیک می‌شود. بنابراین پرتوی A، نمی‌تواند درست باشد، زیرا پرتو از خط عمود دور شده است. اگر نور از شیشه وارد هوا می‌شد. این پرتو صحیح بود. پرتوی B در امتداد پرتوی فرودی است.
پرتوی C پاسخ درستی است زیرا به سمت خط عمود کج شده است.
پرتوی D نادرست است. توجه کنید که برای این پرتو، زاویه شکست $\theta_r = ۰$ است.

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

پاسخ: **۱** مطابق شکل مقابل خواهیم داشت (البته در این شکل فاصله‌ی بین جبهه‌های موج در دو محیط به یک مقیاس نیست، ولی در هر حال $\lambda_{\text{شیشه}} < \lambda_{\text{آب}}$ است).



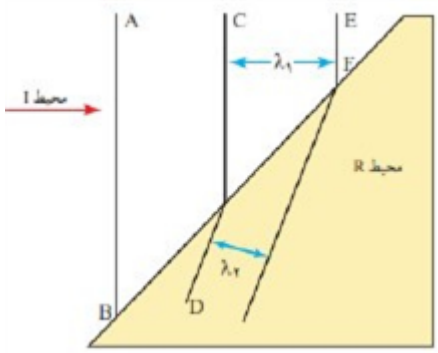
۸ شکل روبه‌رو جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند.
الف) ادامه‌ی جبهه‌ی موج EF را در محیط R رسم کنید.
ب) توضیح دهید در کدام محیط تندی موج بیش‌تر است.
پ) آیا با استفاده از این نمودار می‌توان نسبت تندی موج عبوری به موج فرودی را محاسبه کرد؟



پاسخ: **۱** الف) ادامه موج EF، پرتوی شکسته شده در محیط R است که باید موازی با D باشد. به عبارتی، پرتوهای شکسته باید موازی هم باشند.

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

$$\frac{V_1}{\lambda_1} = \frac{V_2}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

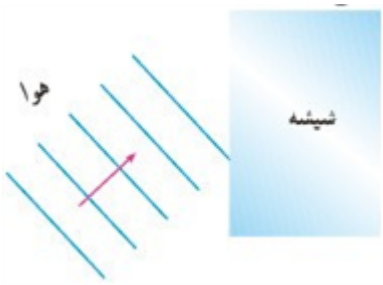


از روی شکل بالا درمی‌یابیم که $\lambda_2 > \lambda_1$ و بنابراین $V_2 < V_1$ است. به عبارتی با دانستن فاصله بین جبهه‌های موج در دو محیط می‌توان درباره نسبت تندی موج در دو محیط اظهارنظر کرد. مثلاً برای شکل بالا در این مسئله، نسبت λ_1 به λ_2 تقریباً $۱/۶$ می‌شود که همان نسبت V_1 به V_2 نیز هست.

۹ در شکل روبه‌رو 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.

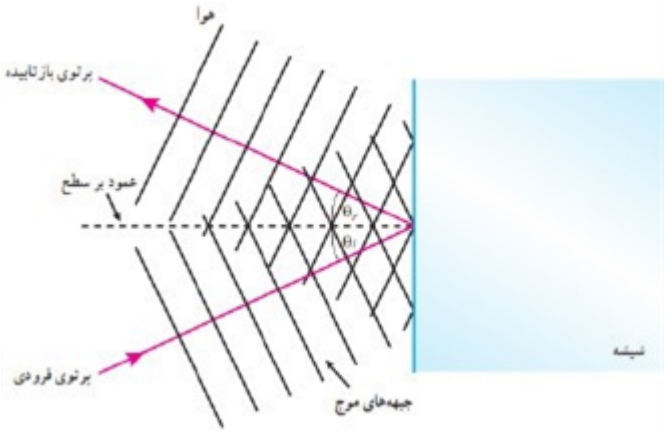
ب) جبهه‌های موج بازتابیده و شکست‌یافته را رسم کنید.

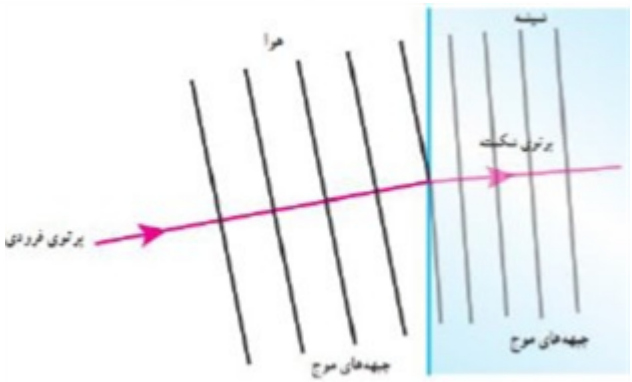


پاسخ: **۱** الف) برای موج شکسته، به‌جز بسامد در سایر مشخصه‌ها با موج فرودی متفاوت است. چرا که تندی و طول‌موج تغییر می‌کنند و این دو به ضریب شکست بستگی دارند. در حالی‌که برای موج بازتابیده، بسامد، طول‌موج و تندی با موج فرودی برابر است.

ب) امتداد پرتوها بر اثر شکست تفاوت پیدا می‌کند. پرتوی شکسته شده باید به خط عمود نزدیک شود. ابتدا پرتوی موج را رسم کرده و سپس جبهه‌های موج را به گونه‌ای رسم می‌کنیم که این پرتو عمود بر آن‌ها باشد، در مورد جبهه‌های موج بازتابیده، چون در خود محیط بازتابیده می‌شوند، فاصله خطوط تغییر نمی‌کند و بنابراین برای موج بازتابیده شکلی مانند روبه‌رو خواهیم داشت.

برای جبهه‌های موج شکست یافته نیز نخست یک پرتوی شکست یافته را رسم می‌کنیم و سپس جبهه‌های موج مربوط به آن‌را نشان می‌دهیم، که فاصله جبهه‌های موج در شیشه، کوتاه‌تر است.





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

پاسخ: ۱

الف) $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_۰} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}}{۶۳۳ \times ۱۰^{-۹} m} = ۴/۷۴ \times ۱۰^{۱۴} \text{Hz}$

ب) $n = \frac{\lambda_۰}{\lambda} = \frac{۶۳۳ \times ۱۰^{-۹} m}{۴۷۴ \times ۱۰^{-۹} m} = ۱/۳۴$

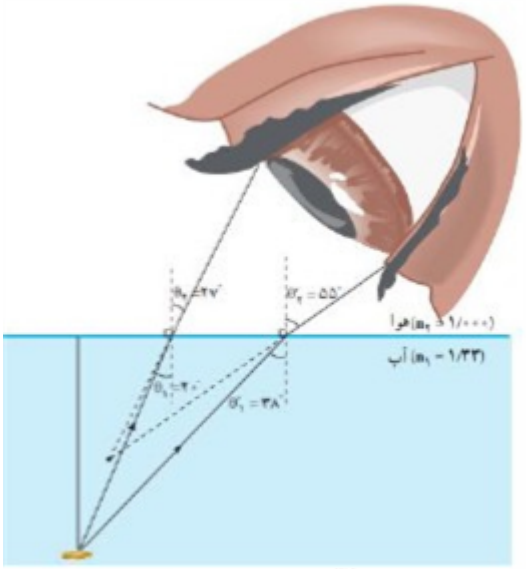
پ) $V = \frac{c}{n} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}}{۱/۳۴} = ۲/۲۵ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$

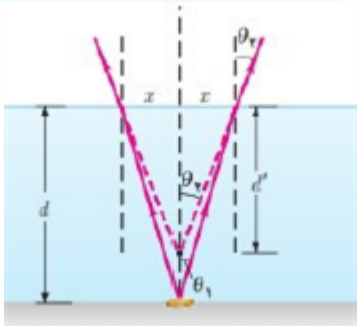
۱۱ سکه‌ای را در گوشه ی فنجانی خالی قرار دهید و طوری مقابل آن قرار گیرد که نتوانید سکه را ببینید. سپس بی‌آن‌که سرتان را حرکت دهید به آرامی در فنجان آب بریزید، به طوری‌که آب ریختن شما موجب جابه‌جایی سکه نشود. با پر شدن فنجان، سکه را خواهید دید. با رسم پرتوها علت دیده شدن سکه را توضیح دهید.



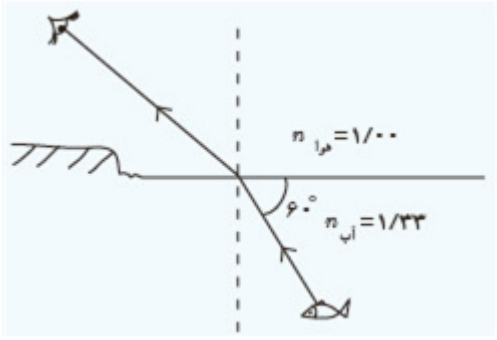
پاسخ: ۱ اگر به طور قائم از بالا نگاه کنیم. پرتویی که از نقطه‌ای از سکه رسم نماییم در زاویه کوچکی از خط عمود از سطح آب قرار می‌گیرد. به دلیل شکسته شدن پرتوها و ورود آن‌ها از محیط با ضریب شکست بیش‌تر به محیطی با ضریب شکست کم‌تر، پرتوها در محل خروج از سطح آب، از خط عمود دور می‌شوند و این‌طور به نظر می‌رسد که امتداد آن‌ها در نقطه‌ای بالاتر از کف فنجان هم‌دیگر را قطع می‌کنند (که با رسم خط چین‌هایی نشان داده شده است. همین باعث می‌شود عمق فنجان را کم‌تر ببینیم.)

اگر کسی به طور مایل نگاه کند، افزون بر جابه‌جایی قائم، یک جابه‌جایی افقی نیز وجود دارد. و همان‌طور که در شکل زیر برای داده‌هایی خاص نشان داده شده است، تصویر در هر دو امتداد قائم و افقی به ناظر نزدیک می‌شود. البته محل این تصویر یکتا نیست و هرچه پرتوهایی که به چشم ناظر می‌رسند افقی‌تر گردند، تصویر به ناظر نزدیک‌تر می‌گردد. بیش‌ترین آن برای پرتوهایی است که نزدیک به زاویه حد به سطح جدایی می‌تابند.





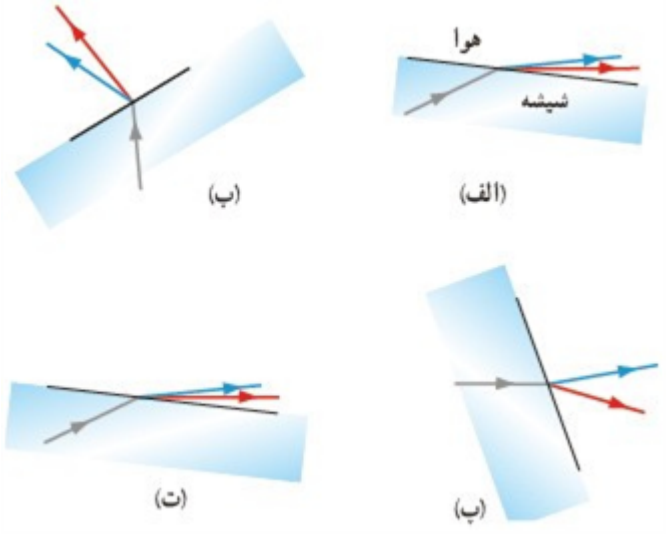
۱۲ مطابق شکل، پرتو نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد تحت زاویه‌ی ۶۰° به مرز آب - هوا برخورد کرده است. زاویه‌ی شکست این پرتو در هوا چه‌قدر است؟



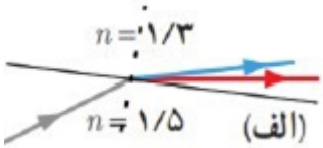
پاسخ: ۱

$$n_۱ \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \Rightarrow \sin\theta_۲ = \frac{n_۱ \sin\theta_۱}{n_۲} = \frac{(۱/۳۳)\sin ۳۰^\circ}{۱} = ۰/۶۶۵ \Rightarrow \theta_۲ = ۴۱/۷^\circ$$

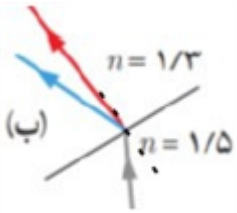
۱۳ در شکل‌های زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای قرمز و آبی است از شیشه وارد هوای رقیق شده است. کدام شکل، شکستی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



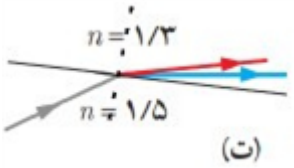
پاسخ: **۱** شکل (الف) پرتو شکسته شده از خط عمود دور شده است و پرتوی آبی می‌بایست پیش‌تر از پرتوی قرمز شکست پیدا می‌کرد.



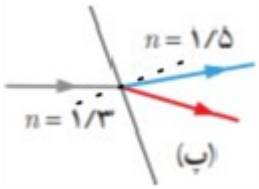
شکل (ب) پرتوی قرمز تقریباً در امتداد خط عمود و پرتوی آبی در سمت نادرست (چپ خط عمود) شکسته شده است.



شکل (ت) پرتو شکسته شده از خط عمود دور شده است و پرتوی آبی بیش‌تر از پرتوی قرمز شکست پیدا کرده است که گزینه‌ی درستی است.



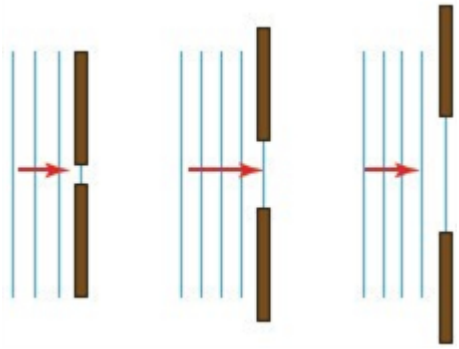
شکل (پ) پرتوها در سمتی درست شکسته شده‌اند، ولی پرتوی آبی به خط عمود نزدیک شده‌اند. بنابراین کلیت این شکل نیز نادرست است.



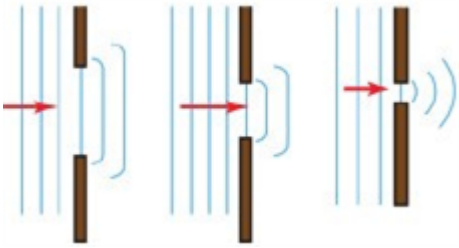
۱۴ دو دانش‌آموز به نور زرد نگاه می‌کنند. یکی از آن‌ها نور زرد را ترکیب دو نور قرمز و سبز و دیگری آن‌را از یک نوع رنگ می‌داند. به نظر شما با چه تجربه‌ای می‌توان بین این دو نظر، یکی را انتخاب کرد؟

پاسخ: **۱** با استفاده از یک منشور به سادگی 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 باریک کردن شکاف‌ها چه شکلی برای جبهه‌های موج خروجی از آن‌ها حاصل می‌شود.



پاسخ: ۱ با باریک کردن پهنای شکاف، پدیده پراش به طور 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 طول‌موج باشد موج‌های تخت به صورت امواج نیم‌دایره‌ای گسترده می‌شوند.



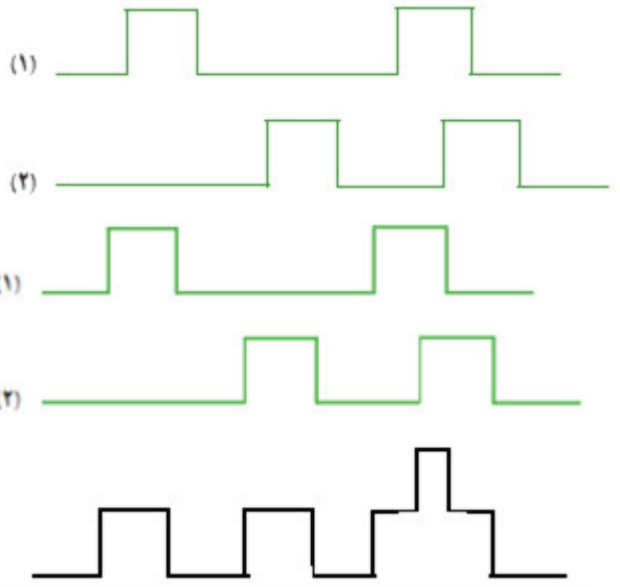
۱۶ گوشی‌های همراه با امواج رادیویی با بسامد حدود $۲\mathrm{GHz}$ کار می‌کنند. توضیح دهید این امواج تحت چه شرایطی از موانع پراشیده می‌شوند و به منطقه‌ی سایه‌ی مانع می‌رسند.

پاسخ: ۱

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸}\left(\frac{m}{s}\right)}{۲ \times ۱۰^{۹} s^{-۱}} = ۰/۱۵m$$

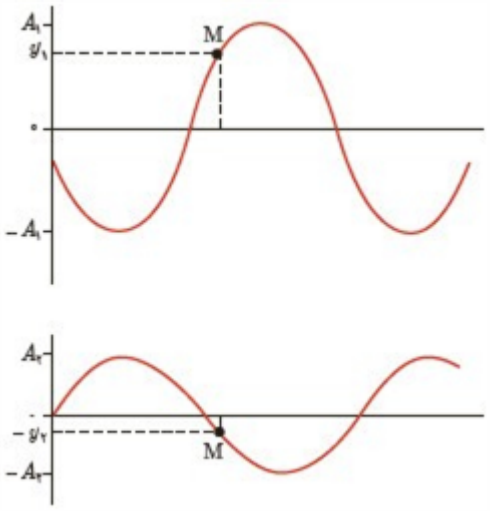
این امواج از اجسامی به قطری حدود $۱۵cm$ یا کوچک‌تر، به خوبی پراشیده می‌شوند.

۱۷ در شکل‌های زیر، وقتی موج ۱ بر موج ۲ برهم نهاده شود شکل موج برهم نهاده را رسم کنید.



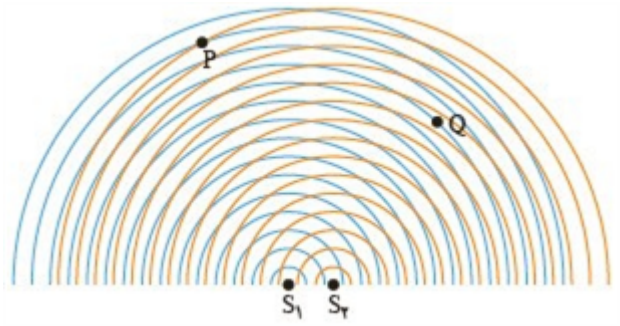
پاسخ: ۱

۱۸ شکل‌های زیر نمودار جابه‌جایی - مکان دو موج را در لحظه‌ی معیّنی نشان می‌دهد. جابه‌جایی برایند نقطه‌ی M در این لحظه چه‌قدر است؟



پاسخ: ۱ جابه‌جایی کل، جمع برداری هر جابه‌جایی مجزا است. چون جابه‌جایی‌های نقطه‌ی M در جهت‌های مخالف هم هستند، جمع برداری آن‌ها برابر $y_۱ - y_۲$ می‌شود که چون $y_۱ > y_۲$ است، مقداری مثبت است.

۱۹ دو چشمه‌ی نقطه‌ای $S_۱$ و $S_۲$ به طور هم‌زمان، با بسامد یکسان، و همگام با یک‌دیگر در یک تشت موج نوسان می‌کنند و جبهه‌های موجی را مطابق شکل زیر به وجود می‌آورند. توضیح دهید دامنه‌ی موج برایند در نقطه‌های P و Q چگونه است؟

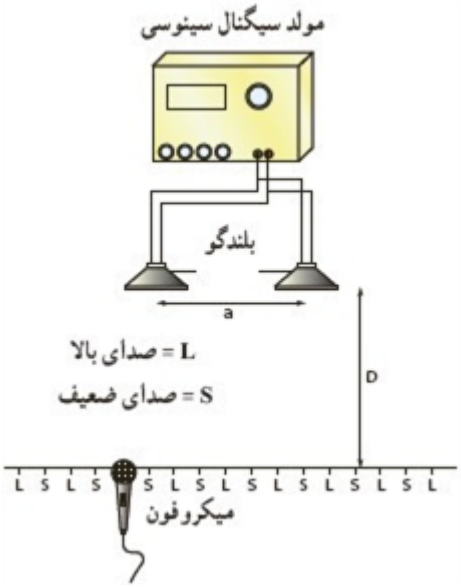


پاسخ: ۱ در نقطه‌ی P قله (ستیغ) موج‌ها هم‌دیگر را قطع کرده‌اند و بر هم نهاده شده‌اند و بنابراین تداخل کاملاً سازنده و دامنه موج برآیند بیشینه است، اما در نقطه Q قله (ستیغ) یک موج با دره (پاستیغ) موج دیگر تلاقی کرده است. (توجه کنید که Q بر یک منحنی آبی و در میان دو منحنی قرمز است) و بنابراین هم‌دیگر را تضعیف می‌کنند و دامنه کمینه است.

۲۰ در آزمایش تداخل صوتی (شکل روبه‌رو) ، فاصله‌ی بین هر نقطه‌ی با صدای بالا (L) تا نقطه‌ی با صدای ضعیف (S) مجاورش، متناسب با طول‌موجِ موج صوتی به کار رفته در این آزمایش است. برای آن‌که این آزمایش به سادگی انجام‌پذیر باشد باید فاصله‌ی نقطه‌های S و L مجاور نه خیلی زیاد، و نه خیلی کم باشد.

الف) بسامد صوت گسیل شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور به هم نزدیک شوند؟

ب) بسامد صوت گسیل شده از بلندگوها را چگونه تغییر دهیم تا نقطه‌های S و L مجاور به هم دور شوند؟



پاسخ: ۱ الف) چون فاصله نقطه‌های S و L متناسب با طول‌موج به کار رفته است، بنابراین برای آن‌که نقطه‌های S و L به هم نزدیک باشند باید طول‌موج به کار رفته کوچک باشد. با توجه به این‌که $f = \frac{v}{\lambda}$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با افزایش بسامد صوت است.

ب) برای آن‌که نقطه‌های S و L از هم دور شوند باید طول‌موج به کار رفته بزرگ باشد. با توجه به این‌که $f = \frac{v}{\lambda}$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با کاهش بسامد صوت است.

۲۱ در آزمایش یانگ:

الف) اگر آزمایش را به جای نور تکفام سبز با نور تکفام قرمز انجام دهیم پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟

ب) اگر آزمایش را به جای آن‌که در هوا انجام دهیم، در آب انجام دهیم، پهنای هر نوار تاریک یا روشن چه تغییری می‌کند؟

پاسخ: ۱ الف) با افزایش طول‌موج، پهنای نوارها زیاد می‌شود. پس پهنای نوارها با استفاده از نور تکفام قرمز به جای نور تکفام سبز، افزایش می‌یابد.

ب) طول‌موج به کار 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 بسماد f به نوسان درمی‌آید. شکل زیر جابه‌جایی تار در $t = ۰$ را نشان می‌دهد.



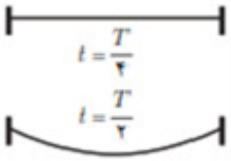
الف) جابه‌جایی تار را در $t = \frac{۱}{۴f}$ و $t = \frac{۱}{۲f}$ رسم کنید.

ب) فاصله‌ی بین تکیه‌گاه‌ها $۱/۰m$ است. اگر تندی موج عرضی در تار $۲۴۰\frac{m}{s}$ باشد، بسماد نوسان تار چه‌قدر می‌شود؟

پاسخ: **۱** الف) چون دوره تناوب برابر با عکس بسماد است، $\left(T = \frac{۱}{f}\right)$ بنابراین $t = \frac{۱}{۴f}$ معادل با $\frac{۱}{۴}T$ و $t = \frac{۱}{۲f}$ معادل با $\frac{۱}{۲}T$ است. به عبارتی در زمان $t = \frac{۱}{۴f}$، $\frac{۱}{۴}$ دوره گذشته است و در زمان $t = \frac{۱}{۲f}$، نصف دوره، پس شکل‌ها چنین می‌شوند:

ب) $\frac{\lambda}{۲} = ۱m \Rightarrow \lambda = ۲m$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{۲۴۰\frac{m}{s}}{۲m} = ۱/۲ \times ۱۰^{۲}(s)^{-۱} = ۱۲۰\text{Hz}$$



۲۳ تار ویولنی که طول آن $۱۵/۰cm$ است و در دو انتها بسته شده است، در مُد $n = ۱$ خود نوسان می‌کند. تندی موج عرضی در این تار $۲۵۰\frac{m}{s}$ و تندی صوت در هوا $۳۴۸\frac{m}{s}$ است.

الف) بسامد و

ب) طول‌موجِ امواج صوتی گسیل شده از تار چه‌قدر است؟

پاسخ: **۱** الف) $f_n = \frac{nv}{۲L} \xrightarrow{n=۱} f_۱ = \frac{(۱)\left(۲۵۰\frac{m}{s}\right)}{۲(۰/۱۵m)} \simeq ۸۳۳\text{Hz}$

بسامد موج روی تار، همان بسامد موج صوتی است که تولید می‌شود.

ب) $f_۱$ بسامد موج صوتی است و بنابراین برای طول‌موجِ موج صوتی گسیل شده داریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۳۴۸\frac{m}{s}}{۸۳۳\text{Hz}} \simeq ۰/۴۱۸m$$

۲۴ اگر بسامد اصلی یک تار ویولن به جرم $۸۰۰mg$ و طول $۲۲/۰cm$ برابر ۹۲۰Hz باشد

الف) تندی موج عرضی در این تار را به دست آورید.

ب) کشش تار چه‌قدر است؟

پ) برای بسامد اصلی، طول‌موجِ موج عرضی در تار و طول‌موجِ امواج صوتی گسیل شده توسط تار چه‌قدر است؟ تندی صوت در هوا را $۳۴۰\frac{m}{s}$ بگیرید.

پاسخ: **۱** الف) دو سر تار بسته است و وقتی در پایین‌ترین بسامد خود نوسان می‌کند، طول آن دقیقاً نصف طول‌موج است.

$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{v}{۲L}\Rightarrow ۹۲۰\text{Hz}=\frac{v}{۲(۰/۲۲m)}\Rightarrow v=۴۰۴/۸\frac{m}{s}$$

$$\text{ب) } v=\sqrt{\frac{F.L}{m}}\Rightarrow ۴۰۴/۸\frac{m}{s}=\sqrt{\frac{F(۲۲\times ۱۰^{-۲}m)}{۸۰۰\times ۱۰^{-۶}kg}}\Rightarrow F\simeq ۰/۵۹۶N$$

$$\text{پ) } \lambda=۲L=۲(۰/۲۲m)=۰/۴۴m$$

بسامد صوت در هوا همان بسامد نوسان سیم است، ولی به خاطر تندی متفاوت صوت، طول‌موج متفاوت می‌شود. اگر هوا را با شاخص پایین a نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\lambda_a=\frac{V_a}{f}=\frac{۳۴۰\frac{m}{s}}{۹۲۰s^{-۱}}\simeq ۳۷cm=۰/۳۷m$$

۲۵ تار ویولنی به طول $۳۰/۰cm$ و چگالی خطی مجرمی $۰/۶۵۰\frac{g}{m}$ در نزدیکی بلندگویی قرار داده شده است که توسط یک نوسان‌ساز صوتی با بسامد متغیر به کار می‌افتد. معلوم شده است وقتی بسامد نوسان‌ساز در گستره‌ی $۵۰۰-۱۵۰۰\text{Hz}$ تغییر می‌کند تار فقط هنگامی به نوسان درمی‌آید که بسامد آن ۸۸۰Hz و ۱۳۲۰Hz باشد.

الف) چه پدیده‌ای سبب به نوسان درآمدن تار شده است؟

ب) بسامد اصلی تار چه‌قدر است؟

پ) کشش تار چه‌قدر است؟

پاسخ: **۱** الف) تشدید، باعث به نوسان درآمدن تار می‌شود. اگر بسامد مولد نوسان با بسامدهای ارتعاش تار منطبق شود، تار به تشدید درمی‌آید. در غیر این صورت، موج ایستاده بارزی ایجاد نمی‌شود. به عبارتی وقتی $f=\frac{v}{\lambda}$ برابر با یکی از بسامدهای نوسان‌ساز باشد، این پدیده رخ می‌دهد.

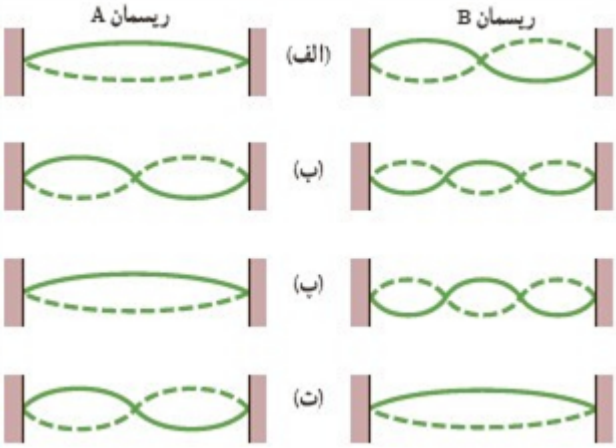
ب) چون تار فقط در دو بسامد ۸۸۰Hz و ۱۳۲۰Hz به نوسان درمی‌آید، تفاضل آن‌ها برابر بسامد اصلی نوسان تار است.

$$f_{n+۱}-f_n=\frac{(n+۱)v}{۲L}-\frac{nv}{۲L}=\frac{v}{۲L}$$

$$f_{n+۱}-f_n=۱۳۲۰\text{Hz}-۸۸۰\text{Hz}=۴۴۰\text{Hz}$$

$$\text{پ) } f_{n+۱}-f_n=\frac{۱}{۲L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}\Rightarrow ۴۴۰\text{Hz}=\frac{۱}{۲(۰/۳m)}\sqrt{\frac{F}{۰/۶۵\times ۱۰^{-۳}\frac{kg}{m}}}\Rightarrow F=۴۵/۳N$$

۲۶ ریسمان‌های A و B، طول و چگالی خطی جرمی یکسان 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؟



پاسخ: **۱** 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 رابطه‌ی $f_n = \frac{nv}{۲L}$ 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؟

پاسخ: **۱** تفاضل دو بسامد نوسان متوالی تار برابر با بسامد اصلی نوسان تار است. بنابراین:

$$f = (۳۹۰\text{Hz} - ۳۲۵\text{Hz}) = ۶۵\text{Hz}$$

همان بسامد اصلی (پایه) است.

پس بسامد هماهنگ بعدی پس از ۱۹۵Hz برابر با $۱۹۵\text{Hz} + ۶۵\text{Hz} = ۲۶۰\text{Hz}$ است.

۲۸ رشته‌ای از بسامدهای تشدیدی یک تار با دو انتهای بسته عبارت‌اند از: ۱۵۰Hz، ۲۵۵Hz، ۳۰۰Hz و ۳۷۵Hz. در این رشته یک بسامد (کم‌تر از ۴۰۰Hz) جا افتاده است.

الف) این بسامد کدام است؟

ب) بسامد هماهنگ هفتم چه‌قدر است؟

پاسخ: **۱**

الف) $f_{n+۱} - f_n = \frac{v}{۲L} = f_۱ = (۲۲۵\text{Hz} - ۱۵۰\text{Hz}) = ۷۵\text{Hz}$

$$f_{n+۱} - f_n = \frac{v}{۲L} = f_۱ = (۳۰۰\text{Hz} - ۲۲۵\text{Hz}) = ۷۵\text{Hz}$$

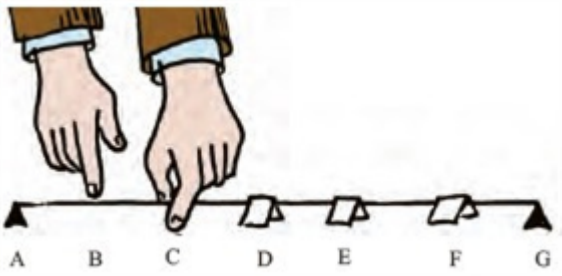
$$f_{n+۱} - f_n = \frac{v}{۲L} = f_۱ = (۳۷۵\text{Hz} - ۳۰۰\text{Hz}) = ۷۵\text{Hz}$$

تفاوت بسامدهای تشدیدی برابر ۷۵Hz است و چون بسامد کم‌تر از ۴۰۰Hz خواسته شده است، پس بسامد موردنظر همان $۱۵۰\text{Hz} - ۷۵\text{Hz} = ۷۵\text{Hz}$ است.

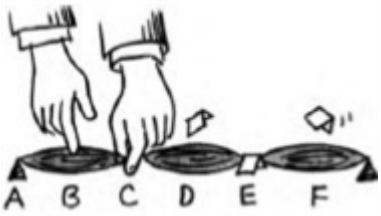
ب) بسامد پنج هماهنگ اول به‌ترتیب برابر با ۷۵Hz، ۱۵۰Hz، ۲۲۵Hz، ۳۰۰Hz و ۳۷۵Hz شده است که به‌ترتیب هماهنگ‌های اول تا پنجم هستند. بنابراین بسامد هماهنگ هفتم برابر است با:

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

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



پاسخ: **۱** اگر تار در نقطه‌ی C محکم گرفته شود، نوسان‌های تار به سمت راست منتقل نمی‌شوند. بنابراین در انجام این تجربه، چگونگی گرفتن تار در نقطه C مهم است و تا آن‌جا که ممکن است باید به آرامی گرفته شود. در این صورت، موج ایستاده‌ای مانند شکل زیر بر تار ایجاد می شود به طوری‌که نقطه‌های A، C، E و G گره‌ها و نقطه‌های B، D و F شکم‌ها می‌شوند. بنابراین کاغذهای تا شده در نقطه‌های D و F به هوا برمی‌خیزند، در حالی‌که کاغذ واقع در E، در جای خود ثابت می‌ماند.



۳۰ وقتی گالن آبی را خالی می‌کنیم، با خالی شدن آب صدای گلوپ گلوپی را می‌شنویم. موقع خالی شدن گالن بسامد این صدا کم‌تر می‌شود (صدای بَم‌تر) یا بیش‌تر (صدای زیرتر)؟ چرا؟



پاسخ: **۱** در هنگام خالی شدن گالن، حجم فضای هوای داخل آن افزایش می‌یابد. هر چه فضای هوای خالی افزایش یابد، اندازه بسامدهای تشدیدی کم‌تر می‌شوند (صدای بم‌تر) (این بسامدها با طول ستون هوا نسبت معکوس دارند.) صدای حاصل از خالی شدن ظرف، گستره وسیعی از بسامدها را دارد که در هر لحظه، یکی از آن‌ها با بسامد تشدیدی هوای درون ظرف منطبق می‌شود، بنابراین موقع خالی شدن گالن، مدام صداهای بم‌تر و بم‌تری (با بسامد کم‌تری) را می‌شنویم.

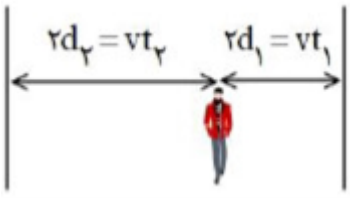
۳۱ در گذشته برای آگاه کردن کشتی‌ها از خطر صخره‌ها، در صدف‌های حلزونی می‌دمیدند. امروزه بیش‌تر برای جشن‌ها و شادی‌ها در آن‌ها می‌دمند. چگونه این صدف‌ها می‌توانند چنین صدایی ایجاد کنند؟

پاسخ: ۱ به هنگام دمیدن در یک صدف حلزونی لب‌ها را روی دهانه باریک آن می‌فشارند. با دمیدن صدف حلزونی، لب‌ها به نوسان درمی‌آیند و اگر این کار با دقت صورت بگیرد، لب‌ها در بسامدهای مختلفی به نوسان درمی‌آیند. نوسان لب‌ها در درون صدف، 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.
برای نمونه از لحاظ تجربی، اگر پایین‌ترین بسامد تشدید صدف $۳۳۲/۵\text{Hz}$ باشد، بسامد نوسان لب نیز باید همین مقدار باشد تا موج صوتی قوی ایجاد شود.



۱

الف) $۲d_۱ = vt_۱ \Rightarrow v = \frac{۲d_۱}{t_۱} = \frac{۴۸۰m}{۱/۵s} = ۳۲۰\frac{m}{s}$



ب) $d_۲ = \frac{vt_۲}{۲} = \frac{\left(۳۲۰\frac{m}{s}\right) \times (۲/۵s)}{۲} = ۴۰۰m$

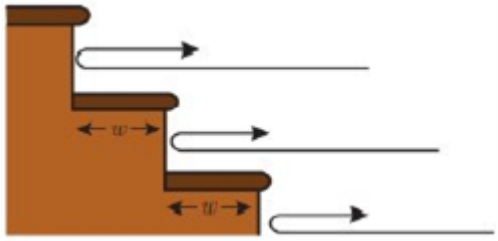
$d = d_۱ + d_۲ = ۴۰۰m + ۲۴۰m = ۶۴۰m$

۲ اگر فاصله از پلکان به حد کافی زیاد باشد، به طوری‌که بتوان مانند شکل زیر مسیر تپ‌های متوالی را تقریباً موازی درنظر گرفت، تقریباً بسامد ثابتی برای رشته تپ‌های متوالی درک می‌کنید.

$$f = \frac{۱}{\Delta t} = \frac{v}{۲w}$$

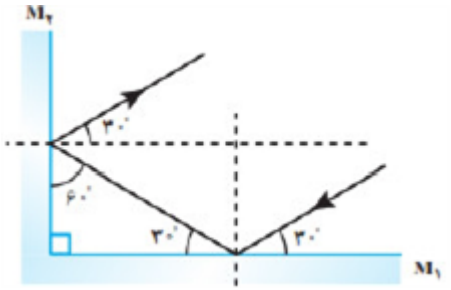
این صدا به صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها بازمی‌گردد و مانند یک نت نواخته شده درک می‌شود. بدیهی است اگر پهنای پله‌ها کوچک‌تر باشد، با توجه به این‌که $f \alpha \frac{۱}{W}$ است، بسامد ادراک شده بیش‌تر می‌شود.

مسیر تپ‌های متوالی که هر کدام از یک پله نشأت گرفته‌اند، موازی نیست و بسامد ثابتی را برای رشته تپ‌های متوالی درک نمی‌کنید. بلکه گستره‌ای از بسامدها را درک می‌کنید که به تدریج کم می‌شوند. به طوری‌که بسامد دریافتی از پله‌های پایینی (که تپ‌های بازتابیده از آن‌ها را زودتر می‌شنویم) بیش‌تر از بسامد دریافتی از پله‌های بالایی است (که تپ‌های بازتابیده از آن‌ها را دیرتر می‌شنویم) و بدین ترتیب صدا را به صورت رشته‌ای دوره‌ای از تپ‌ها می‌شنوید.

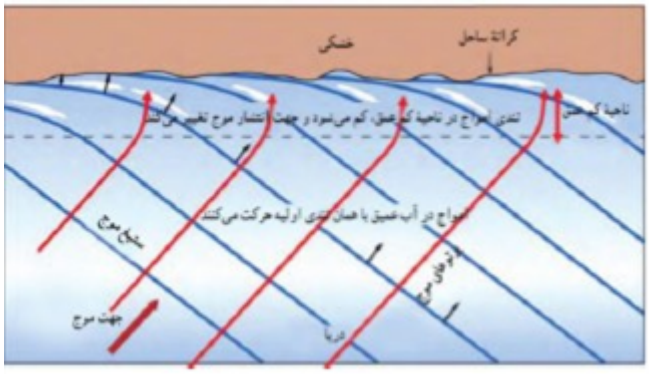


۳ ناشی از بازتاب پخشنده است.

۴



۵ با نزدیک شدن امواج به یک ساحل شیبدار و رسیدن جبهه‌های موج به ساحل که در آن‌جا عمق آب کم می‌شود، جهت انتشار موج تغییر می‌کند. به عبارتی، با ورود امواج از ناحیه عمیق به ناحیه‌ی کم‌عمق، تندی آن‌ها کم می‌شود.

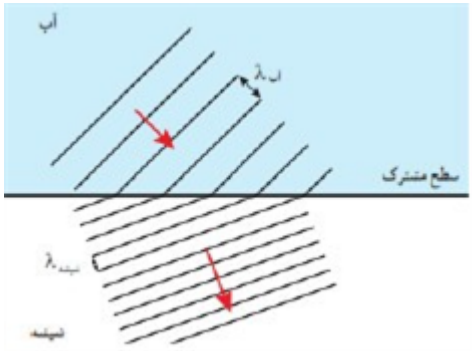


۶ شیشه ضریب شکست بزرگ‌تری نسبت به هوا دارد. پرتو شکسته شده در شیشه به خط عمود نزدیک می‌شود. بنابراین پرتوی A، نمی‌تواند درست باشد، زیرا پرتو از خط عمود دور شده است. اگر نور از شیشه وارد هوا می‌شد. این پرتو صحیح بود. پرتوی B در امتداد پرتوی فرودی است.

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

پرتوی D نادرست است. توجه کنید که برای این پرتو، زاویه شکست $\theta_r = ۰$ است.

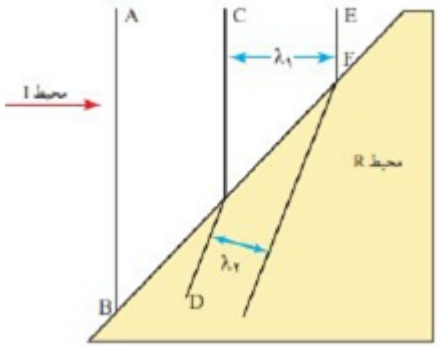
۷ مطابق شکل مقابل خواهیم داشت (البته در این شکل فاصله‌ی بین جبهه‌های موج در دو محیط به یک مقیاس نیست، ولی در هر حال $\lambda_{\text{شیشه}} < \lambda_{\text{آب}}$ است).



۸ الف) ادامه موج EF، پرتوی شکسته شده در محیط R است که باید موازی با D باشد. به عبارتی، پرتوهای شکسته باید موازی هم باشند.

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

$$\frac{V_۱}{\lambda_۱} = \frac{V_۲}{\lambda_۲} \Rightarrow \frac{V_۱}{V_۲} = \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}$$

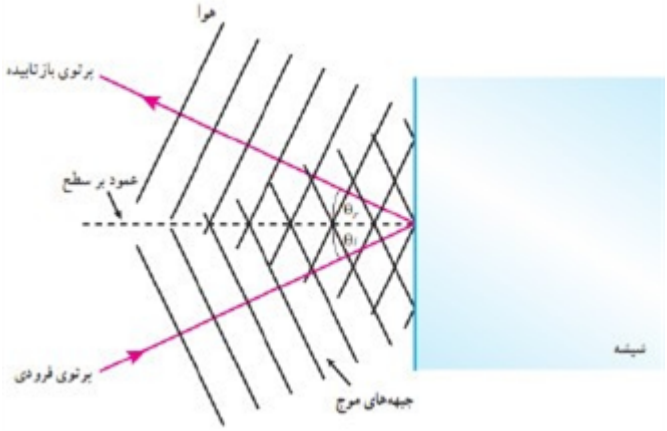


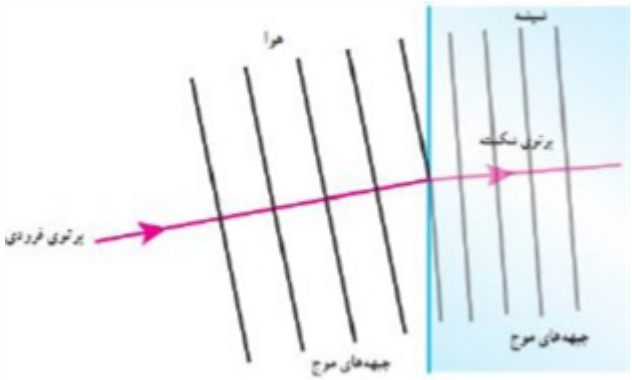
از روی شکل بالا درمی‌یابیم که $\lambda_۲ > \lambda_۱$ و بنابراین $V_۲ < V_۱$ است. به عبارتی با دانستن فاصله بین جبهه‌های موج در دو محیط می‌توان درباره نسبت تندی موج در دو محیط اظهارنظر کرد. مثلاً برای شکل بالا در این مسئله، نسبت $\lambda_۱$ به $\lambda_۲$ تقریباً ۱/۶ می‌شود که همان نسبت $V_۱$ به $V_۲$ نیز هست.

۹ الف) برای موج شکسته، به‌جز بسامد در سایر مشخصه‌ها با موج فرودی متفاوت است. چرا که تندی و طول‌موج تغییر می‌کنند و این دو به ضریب شکست بستگی دارند. در حالی‌که برای موج بازتابیده، بسامد، طول‌موج و تندی با موج فرودی برابر است.

ب) امتداد پرتوها بر اثر شکست تفاوت پیدا می‌کند. پرتوی شکسته شده باید به خط عمود نزدیک شود. ابتدا پرتوی موج را رسم کرده و سپس جبهه‌های موج را به گونه‌ای رسم می‌کنیم که این پرتو عمود بر آن‌ها باشد، در مورد جبهه‌های موج بازتابیده، چون در خود محیط بازتابیده می‌شوند، فاصله خطوط تغییر نمی‌کند و بنابراین برای موج بازتابیده شکلی مانند روبه‌رو خواهیم داشت.

برای جبهه‌های موج شکست یافته نیز نخست یک پرتوی شکست یافته را رسم می‌کنیم و سپس جبهه‌های موج مربوط به آن‌را نشان می‌دهیم، که فاصله جبهه‌های موج در شیشه، کوتاه‌تر است.





۱۰

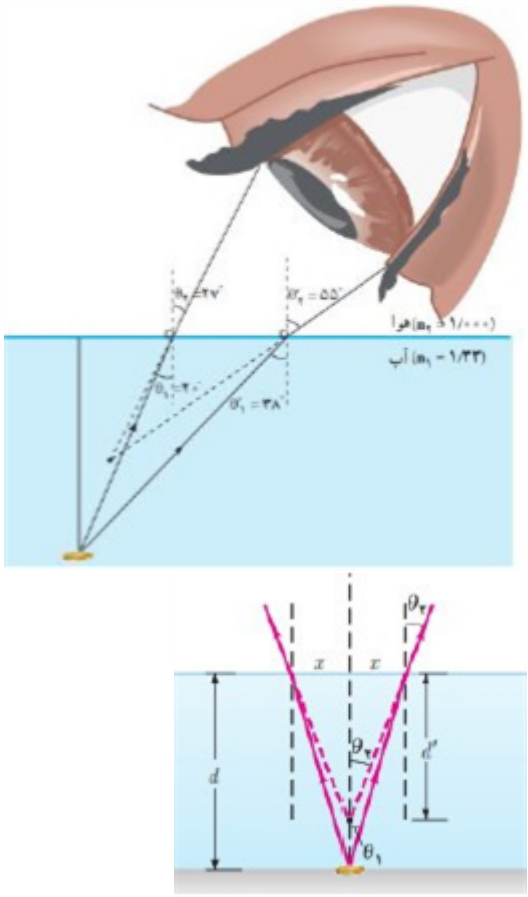
الف) $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_{\circ}} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}}{۶۳۳ \times ۱۰^{-۹} m} = ۴/۷۴ \times ۱۰^{۱۴} \text{Hz}$

ب) $n = \frac{\lambda_{\circ}}{\lambda} = \frac{۶۳۳ \times ۱۰^{-۹} m}{۴۷۴ \times ۱۰^{-۹} m} = ۱/۳۴$

پ) $V = \frac{c}{n} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}}{۱/۳۴} = ۲/۲۵ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$

۱۱ اگر به طور قائم از بالا نگاه کنیم. پرتویی که از نقطه‌ای از سکه رسم نماییم در زاویه کوچکی از خط عمود از سطح آب قرار می‌گیرد. به دلیل شکسته شدن پرتوها و ورود آن‌ها از محیط با ضریب شکست بیش‌تر به محیطی با ضریب شکست کم‌تر، پرتوها در محل خروج از سطح آب، از خط عمود دور می‌شوند و این‌طور به نظر می‌رسد که امتداد آن‌ها در نقطه‌ای بالاتر از کف فنجان هم‌دیگر را قطع می‌کنند (که با رسم خط چین‌هایی نشان داده شده است. همین باعث می‌شود عمق فنجان را کم‌تر ببینیم.)

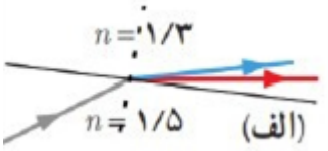
اگر کسی به طور مایل نگاه کند، افزون بر جابه‌جایی قائم، یک جابه‌جایی افقی نیز وجود دارد. و همان‌طور که در شکل زیر برای داده‌هایی خاص نشان داده شده است، تصویر در هر دو امتداد قائم و افقی به ناظر نزدیک می‌شود. البته محل این تصویر یکتا نیست و هرچه پرتوهایی که به چشم ناظر می‌رسند افقی‌تر گردند، تصویر به ناظر نزدیک‌تر می‌گردد. بیش‌ترین آن برای پرتوهایی است که نزدیک به زاویه حد به سطح جدایی می‌تابند.



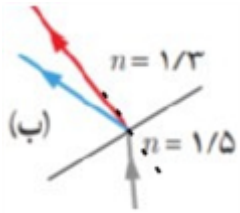
۱۲

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \Rightarrow \sin\theta_2 = \frac{n_1 \sin\theta_1}{n_2} = \frac{(۱/۳۳)\sin ۳۰^\circ}{۱} = ۰/۶۶۵ \Rightarrow \theta_2 = ۴۱/۷^\circ$$

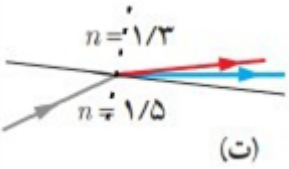
۱۳ شکل (الف) پرتو شکسته شده از خط عمود دور شده است و پرتوی آبی می‌بایست پیش‌تر از پرتوی قرمز شکست پیدا می‌کرد.



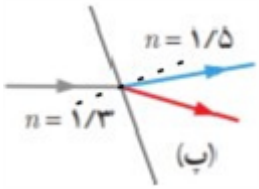
شکل (ب) پرتوی قرمز تقریباً در امتداد خط عمود و پرتوی آبی در سمت نادرست (چپ خط عمود) شکسته شده است.



شکل (ت) پرتو شکسته شده از خط عمود دور شده است و پرتوی آبی بیش‌تر از پرتوی قرمز شکست پیدا کرده است که گزینه‌ی درستی است.

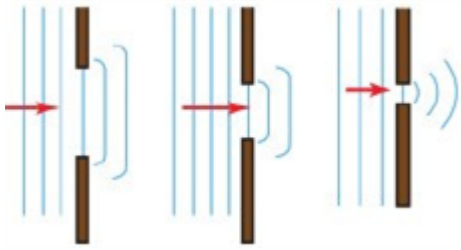


شکل (پ) پرتوها در سمتی درست شکسته شده‌اند، ولی پرتوی آبی به خط عمود نزدیک شده‌اند. بنابراین کلیت این شکل نیز نادرست است.



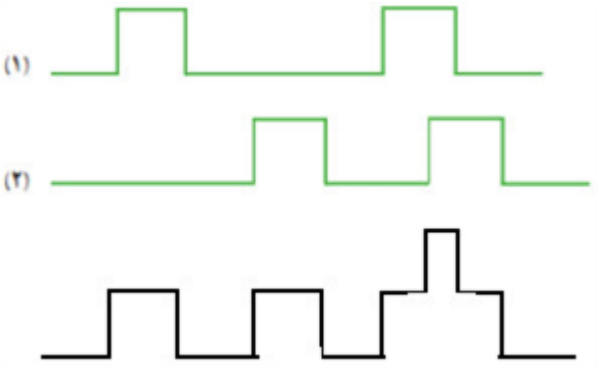
۱۴ با استفاده از یک منشور به سادگی می‌توانیم بین این دو نظر، یکی را انتخاب کنیم. اگر نور زرد، ترکیبی باشد در منشور تجزیه می‌شود و می‌توانیم نورهای قرمز و سبز را مشاهده کنیم.

۱۵ با باریک کردن پهنای شکاف، پدیده پراش به طور 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 طول‌موج باشد موج‌های تخت به صورت امواج نیم‌دایره‌ای گسترده می‌شوند.



۱۶ $$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f} = \frac{۳ \times ۱۰^{۸} \left(\frac{m}{s}\right)}{۲ \times ۱۰^{۹} s^{-۱}} = ۰/۱۵ m$$

این امواج از اجسامی به قطری حدود $۱۵ cm$ یا کوچک‌تر، به خوبی پراشیده می‌شوند.

۱۷ 

۱۸ جابه‌جایی کل، جمع برداری هر جابه‌جایی مجزا است. چون جابه‌جایی‌های نقطه‌ی M در جهت‌های مخالف هم هستند، جمع برداری آن‌ها برابر $y_۱ - y_۲$ می‌شود که چون $y_۱ > y_۲$ است، مقداری مثبت است.

۱۹ در نقطه‌ی P قله (ستیغ) موج‌ها هم‌دیگر را قطع کرده‌اند و بر هم نهاده شده‌اند و بنابراین تداخل کاملاً سازنده و دامنه موج برآیند بیشینه است، اما در نقطه Q قله (ستیغ) یک موج با دره (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 الف) چون فاصله نقطه‌های S و L متناسب با طول‌موج به کار رفته است، بنابراین برای آن‌که نقطه‌های S و L به هم نزدیک باشند باید طول‌موج به کار رفته کوچک باشد. با توجه به این‌که $f = \frac{v}{\lambda}$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با افزایش بسامد صوت است.

ب) برای آن‌که نقطه‌های S و L از هم دور شوند باید طول‌موج به کار رفته بزرگ باشد. با توجه به این‌که $f = \frac{v}{\lambda}$ است نتیجه می‌گیریم که این معادل با کاهش بسامد صوت است.

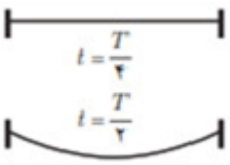
۲۱ الف) با افزایش طول‌موج، پهنای نوارها زیاد می‌شود. پس پهنای نوارها با استفاده از نور تکفام قرمز به جای نور تکفام سبز، افزایش می‌یابد.

ب) طول‌موج به کار رفته کاهش می‌یابد که این به معنای کاهش پهنای نوارها است.

۲۲ الف) چون دوره تناوب برابر با عکس بسامد است، $\left(T = \frac{۱}{f}\right)$ بنابراین $t = \frac{۱}{۴f}$ معادل با $\frac{۱}{۴}T$ و $t = \frac{۱}{۲f}$ معادل با $\frac{۱}{۲}T$ است. به عبارتی در زمان $t = \frac{۱}{۴f}$، $\frac{۱}{۴}$ دوره گذشته است و در زمان $t = \frac{۱}{۲f}$، نصف دوره، پس شکل‌ها چنین می‌شوند:

ب) $\frac{\lambda}{۲} = ۱m \Rightarrow \lambda = ۲m$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{۲۴۰\frac{m}{s}}{۲m} = ۱/۲ \times ۱۰^{۲}(s)^{-۱} = ۱۲۰\text{Hz}$$



۲۳ الف) $f_n = \frac{nv}{۲L} \xrightarrow{n=۱} f_۱ = \frac{(۱)\left(۲۵۰\frac{m}{s}\right)}{۲(۰/۱۵m)} \simeq ۸۳۳\text{Hz}$

بسامد موج روی تار، همان بسامد موج صوتی است که تولید می‌شود.

ب) $f_۱$ بسامد موج صوتی است و بنابراین برای طول‌موجِ موج صوتی گسیل شده داریم:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۳۴۸\frac{m}{s}}{۸۳۳\text{Hz}} \simeq ۰/۴۱۸m$$

۲۴ الف) دو سر تار بسته است و وقتی در پایین‌ترین بسامد خود نوسان می‌کند، طول آن دقیقاً نصف طول‌موج است.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{۲L} \Rightarrow ۹۲۰\text{Hz} = \frac{v}{۲(۰/۲۲m)} \Rightarrow v = ۴۰۴/۸\frac{m}{s}$$

ب) $v = \sqrt{\frac{F.L}{m}} \Rightarrow ۴۰۴/۸\frac{m}{s} = \sqrt{\frac{F(۲۲\times ۱۰^{-۲}m)}{۸۰۰\times ۱۰^{-۶}kg}} \Rightarrow F \simeq ۰/۵۹۶N$

پ) $\lambda = ۲L = ۲(۰/۲۲m) = ۰/۴۴m$

بسامد صوت در هوا همان بسامد نوسان سیم است، ولی به خاطر تندی متفاوت صوت، طول‌موج متفاوت می‌شود. اگر هوا را با شاخص پایین a نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$\lambda_a = \frac{V_a}{f} = \frac{۳۴۰\frac{m}{s}}{۹۲۰s^{-۱}} \simeq ۳۷cm = ۰/۳۷m$$

۲۵ الف) تشدید، باعث به نوسان درآمدن تار می‌شود. اگر بسامد مولد نوسان با بسامدهای ارتعاش تار منطبق شود، تار به تشدید درمی‌آید. در غیر این صورت، موج ایستاده بارزی ایجاد نمی‌شود. به عبارتی وقتی $f = \frac{v}{\lambda}$ برابر با یکی از بسامدهای نوسان‌ساز باشد، این پدیده رخ می‌دهد.

ب) چون تار فقط در دو بسامد ۸۸۰Hz و ۱۳۲۰Hz به نوسان درمی‌آید، تفاضل آن‌ها برابر بسامد اصلی نوسان تار است.

$$f_{n+۱} - f_n = \frac{(n+۱)v}{۲L} - \frac{nv}{۲L} = \frac{v}{۲L}$$

$$f_{n+۱} - f_n = ۱۳۲۰\text{Hz} - ۸۸۰\text{Hz} = ۴۴۰\text{Hz}$$

پ) $f_{n+۱} - f_n = \frac{۱}{۲L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow ۴۴۰\text{Hz} = \frac{۱}{۲(۰/۳m)}\sqrt{\frac{F}{۰/۶۵\times ۱۰^{-۳}\frac{kg}{m}}} \Rightarrow F = ۴۵/۳N$

۲۶ 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 رابطه‌ی $f_n = \frac{nv}{۲L}$ 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 تفاضل دو بسامد نوسان متوالی تار برابر با بسامد اصلی نوسان تار است. بنابراین:

$$f = (۳۹۰\text{Hz} - ۳۲۵\text{Hz}) = ۶۵\text{Hz}$$

همان بسامد اصلی (پایه) است.

پس بسامد هماهنگ بعدی پس از ۱۹۵Hz برابر با $۱۹۵\text{Hz} + ۶۵\text{Hz} = ۲۶۰\text{Hz}$ است.

۲۸ الف) $f_{n+1} - f_n = \frac{v}{2L} = f_1 = (225\text{Hz} - 150\text{Hz}) = 75\text{Hz}$

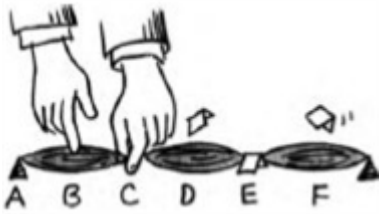
$$f_{n+1} - f_n = \frac{v}{2L} = f_1 = (300\text{Hz} - 225\text{Hz}) = 75\text{Hz}$$

$$f_{n+1} - f_n = \frac{v}{2L} = f_1 = (375\text{Hz} - 300\text{Hz}) = 75\text{Hz}$$

تفاوت بسامدهای تشدیدی برابر 75Hz است و چون بسامد کم‌تر از 400Hz خواسته شده است، پس بسامد موردنظر همان $150\text{Hz} - 75\text{Hz} = 75\text{Hz}$ است.

ب) بسامد پنج هماهنگ اول به‌ترتیب برابر با 75Hz، 150Hz، 225Hz، 300Hz و 375Hz شده است که به‌ترتیب هماهنگ‌های اول تا پنجم هستند. بنابراین بسامد هماهنگ هفتم برابر است با: $f_v = 7(75\text{Hz}) = 525\text{Hz}$

۲۹ اگر تار در نقطه‌ی C محکم گرفته شود، نوسان‌های تار به سمت راست منتقل نمی‌شوند. بنابراین در انجام این تجربه، چگونگی گرفتن تار در نقطه C مهم است و تا آن‌جا که ممکن است باید به آرامی گرفته شود. در این صورت، موج ایستاده‌ای مانند شکل زیر بر تار ایجاد می شود به طوری‌که نقطه‌های A، C، E و G گره‌ها و نقطه‌های B، D و F شکم‌ها می‌شوند. بنابراین کاغذهای تا شده در نقطه‌های D و F به هوا برمی‌خیزند، در حالی‌که کاغذ واقع در E، در جای خود ثابت می‌ماند.



۳۰ در هنگام خالی شدن گالن، حجم فضای هوای داخل آن افزایش می‌یابد. هر چه فضای هوای خالی افزایش یابد، اندازه بسامدهای تشدیدی کم‌تر می‌شوند (صدای بم‌تر) (این بسامدها با طول ستون هوا نسبت معکوس دارند.)
صدای حاصل از خالی شدن ظرف، گستره وسیعی از بسامدها را دارد که در هر لحظه، یکی از آن‌ها با بسامد تشدیدی هوای درون ظرف منطبق می‌شود، بنابراین موقع خالی شدن گالن، مدام صداهای بم‌تر و بم‌تری (با بسامد کم‌تری) را می‌شنویم.

۳۱ به هنگام دمیدن در یک صدف حلزونی لب‌ها را روی دهانه باریک آن می‌فشارند. با دمیدن صدف حلزونی، لب‌ها به نوسان درمی‌آیند و اگر این کار با دقت صورت بگیرد، لب‌ها در بسامدهای مختلفی به نوسان درمی‌آیند. نوسان لب‌ها در درون صدف، 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.
برای نمونه از لحاظ تجربی، اگر پایین‌ترین بسامد تشدید صدف $332/5\text{Hz}$ باشد، بسامد نوسان لب نیز باید همین مقدار باشد تا موج صوتی قوی ایجاد شود.

