فهرست

فصل ۱
فیزیک و اندازه‌گیری ۷

فصل ۲
ویژگی‌های فیزیکی مواد ۲۰

فصل ۳
کار، انرژی و توان ۵۱

فصل ٤
دما و گرما ۶۸

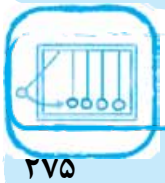
فصل ۵
الکتریسیتهٔ ساکن ۹۱

فصل ٦
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۱۲۲

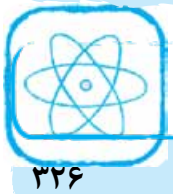
فصل ۷
مغناطیس و القای الکترومغناطیسی ۱۵۴

فصل ۸
حرکت بر خط راست

فصل ۹
دینامیک ۲۵۱



فصل ۱۰
نوسان و امواج ۲۷۵



فصل ۱۱
آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای ۳۲۶

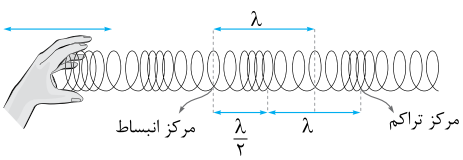
پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۳۴۹
پاسخ‌نامهٔ کلیدی ۶۶۰

درس ۴

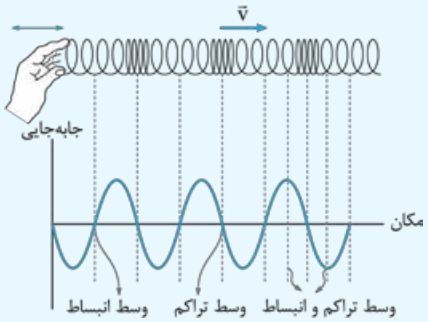
امواج طولی

موج طولی و مشخصه‌های آن

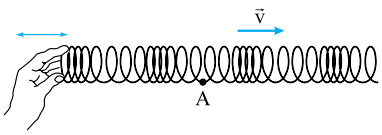
موج در امواج عرضی، به شکل مجموعه‌ای از قله‌ها و دره‌ها و در امواج طولی، به شکل مجموعه‌ای از تراکم‌ها (جمع‌شدگی‌ها) و انبساط‌ها (بازشدگی‌ها) منتشر می‌شود. در امواج طولی، فاصلهٔ بین مراکز دو تراکم متوالی یا دو انبساط متوالی برابر طول موج و فاصلهٔ بین مراکز یک تراکم و یک انبساط متوالی برابر نصف طول موج است.



نکته در یک لحظه از زمان، نقاطی که در وسط یک ناحیهٔ تراکمی یا یک ناحیهٔ انبساطی هستند در وضع تعادل قرار دارند و نقاطی که در وسط فاصلهٔ بین مراکز یک ناحیهٔ تراکمی و یک ناحیهٔ انبساطی متوالی قرار دارند، بیشترین جابه‌جایی از وضع تعادل را دارند. با توجه به این مطالب، نمودار جابه‌جایی برحسب مکان هر نقطه از فنری که حاصل موج طولی است، مطابق شکل مقابل رسم می‌شود.



تست **یک موج طولی با دامنهٔ ۱cm، بسامد ۱۰Hz و تندی ۲۰ m/s در فنری به شکل مقابل پیش می‌رود. در لحظهٔ نشان داده شده در شکل، تندی نقطه‌ای از طناب که در فاصلهٔ ۰/۵ متری از نقطهٔ A قرار دارد، چند متر بر ثانیه است؟ (نقطهٔ A در مرکز انبساط قرار دارد.)**



۱) صفر ۲) $0/2\pi$ ۳) ۲ ۴) ۲۰

پاسخ گزینهٔ ۱ طول موج ایجادشده در طناب برابر است با:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{20}{10} = 2\ m$$

فاصلهٔ بین مراکز یک تراکم و یک انبساط متوالی برابر $\frac{\lambda}{2}$ است:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{2}{2} = 1\ m$$

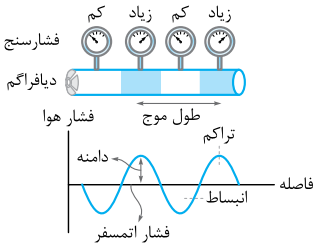
و نقطه‌ای که در وسط این فاصله (یعنی ۰/۵ متری مرکز یک تراکم متوالی یا یک انبساط متوالی) قرار گرفته دارای بیشترین جابه‌جایی از وضع تعادل است. چنین نقطه‌ای در یک انتهای مسیر قرار دارد و سرعتش صفر است.

موج صوتی

تعریف موج صوتی: موج صوتی یک **موج مکانیکی طولی** است که توسط یک جسم مرتعش (چشمهٔ صوت) در یک محیط منتشر می‌شود.

امواج صوتی در همهٔ محیط‌های مادی (جامد، مایع و گاز) قابلیت انتشار دارند.

نمونه در شکل روبه‌رو، یکی از راه‌های تولید امواج صوتی نشان داده شده است. دیافراگم با حرکت رفت و برگشتی خود هوای درون لوله را متراکم و منبسط می‌کند که این تراکم و انبساط‌ها به صورت لایه‌های پرفشار و کم‌فشار هوا (نسبت به فشار محیط) در داخل لوله منتشر می‌شوند و با رسیدن به پردهٔ گوش آن را به ارتعاش درمی‌آورند.



نکته۱ به ناحیهٔ پرفشار موج «تپ تراکمی» و به ناحیهٔ کم‌فشار آن «تپ انبساطی» می‌گویند.

نکته۲ منظور از بسامد موج، تعداد تپ‌های تراکمی (یا تپ‌های انبساطی) است که در واحد زمان از یک سطح مقطع دلخواه (در مسیر انتشار موج) می‌گذرند. واضح است که اگر چشمهٔ موج در هر ثانیه ۱۰ نوسان انجام دهد، ۱۰ تپ تراکمی و ۱۰ تپ انبساطی در هر ثانیه ایجاد می‌شود. یعنی بسامد موج ۱۰ Hz می‌شود.

تندی انتشار صوت: تندی انتشار صوت به ویژگی‌های فیزیکی محیط بستگی دارد و معمولاً هر چه تراکم‌پذیری محیط کم‌تر باشد، (تراکم محیط بیشتر باشد) تندی انتشار صوت در آن **بیشتر** است. بنابراین در اغلب موارد، تندی انتشار صوت در جامدها بیشتر از مایع‌ها و در مایع‌ها بیشتر از گازها است.

تندی انتشار صوت علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی محیط به دما نیز بستگی دارد.

نمونه در فشار ۱ atm، تندی انتشار صوت در هوای ۲۰ °C (۳۴۳ m/s) بیشتر از تندی انتشار صوت در هوای ۰ °C (۳۳۱ m/s) است.

ادراک صوت

تُن موسیقی: صدای حاصل از یک چشمهٔ صوتی که نوسان هماهنگ ساده انجام می‌دهد «تُن موسیقی» یا به اختصار «**تُن**» نام دارد. یک تن موسیقی دو ویژگی متمایز دارد: **ارتفاع** و **بلندی**. متفاوت‌بودن این ویژگی‌ها باعث می‌شود بین صداها فرق بگذاریم.

ارتفاع: ارتفاع، بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند. هر چه صدایی زیرتر باشد، (به اصطلاح عامیانه جیغ صدا زیاد باشد!) ارتفاع آن بالاتر و هر چه صدایی بم‌تر باشد، ارتفاع آن پایین‌تر است.

بلندی: بلندی یک صوت، شدت صوتی است که گوش انسان درک می‌کند.

گوش انسان صداهایی را می‌تواند بشنود که بسامد آن‌ها در محدودهٔ ۲۰ Hz تا ۲۰ kHz باشد.

شدت صوت: شدت صوت برابر مقدار انرژی است که از واحد سطح عمود بر راستای انتشار موج در هر ثانیه عبور می‌کند و با I نشان داده می‌شود؛ بنابراین، اگر E انرژی منتقل‌شده در مدت t به سطح A باشد، رابطهٔ مقابل برقرار است:

$$I = \frac{E}{At}$$

آهنگ زمانی متوسط انتقال انرژی را با P_{av} نشان می‌دهیم، پس داریم:

$$P_{av} = \frac{E}{t} \Rightarrow I = \frac{P_{av}}{A}$$

یکای شدت صوت در SI «وات بر متر مربع (W/m^2)» است.

معمولاً جبهه‌های موج ارسالی از یک چشمهٔ صوت به شکل کروی در همهٔ جهت‌ها منتشر می‌شوند. مساحت کره از رابطهٔ $A = 4\pi r^2$ به دست می‌آید. پس شدت صوت در فاصلهٔ r از منبع صوت از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید:

$$I = \frac{P_{av}}{4\pi r^2}$$

تست **امواج صوتی حاصل از یک منبع صوت، در هوا به شکل کره منتشر می‌شوند. اگر توان منبع $\pi \times 10^{-5}$ وات باشد، شدت صوت آن در یک نقطه به فاصلهٔ ۰/۵ متر از منبع، چند میکروووات بر متر مربع خواهد بود؟** *(سراسری ریاضی ■ ۷۴)*

۱) ۰/۱ ۲) ۰/۴ ۳) ۱ ۴) ۱۰

پاسخ گزینهٔ ۴ با استفاده از رابطهٔ شدت صوت داریم:

$$I = \frac{P_{av}}{4\pi r^2} = \frac{\pi \times 10^{-5}}{4\pi \times (0/5)^2} = 10^{-5}\ W/m^2 = 10^{-5} \times 10^6\ \frac{\mu W}{m^2} = 10\ \frac{\mu W}{m^2}$$

عوامل مؤثر بر بلندی صوت: بلندی صوت که به گوش ما می‌رسد به سه عامل بستگی دارد: ۱ **شدت صوت** ۲ **حساسیت گوش شنونده** ۳ **بسامد صوت.** انسان صداهایی با شدت یکسان و با بسامدهای متفاوت را با یک بلندی نمی‌شنود. حساسیت گوش انسان برای شنیدن صداهایی با بسامد ۲۰۰۰ Hz تا ۵۰۰۰ Hz بیشینه است و صوتی با بسامد ۳۲۰۰ Hz را با بیشترین شدت ممکن می‌شنود.

شدت صوت مرجع: به حداقل شدت صوتی که گوش سالم می‌تواند بشنود «**آستانهٔ شنوایی**» یا «**شدت صوت مرجع**» می‌گوییم و آن را با I_0 نشان می‌دهیم. شدت صوت مرجع (برای بسامد ۱۰۰۰ Hz) برابر $10^{-12}\ W/m^2 = 10^{-6}\ \mu W/m^2$ است.

تراز شدت صوت

ادراک انسان از بلندی صوت با شدت صوت نسبت مستقیم ندارد و تقریباً لگاریتمی است. به همین خاطر کمیتی به نام «تراز شدت صوت» تعریف می‌شود که آن را با β نشان می‌دهیم و با رابطهٔ مقابل تعریف می‌کنیم:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}\ \text{(برحسب دسی‌بل)} \quad ، \quad \beta = \log \frac{I}{I_0}\ \text{(برحسب بل)}$$

تست شدت صوتی $3/2\times10^{-3}\ W/m^2$ است. تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟ $(I_0=10^{-12}\ W/m^2\ ,\ \log2=0/3)$ (سراسری ریاضی ■ ۹۲)

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۸۵ ۴) ۹۵

پاسخ گزینهٔ ۴ با استفاده از رابطهٔ تراز شدت صوت داریم:

$$\beta=10\log\frac{I}{I_0}=10\log\frac{3/2\times10^{-3}}{10^{-12}}=10(\log32\times10^8)$$

$$\xrightarrow{\log ab=\log a+\log b}\beta=10(\log32+\log10^8)=10(\log2^5+\log10^8)=10(5\log2+8\log10)\xrightarrow[\log10=1]{\log2=0/3}\beta=10(5\times0/3+8)$$

$$\Rightarrow\ \beta=95\ dB$$

اختلاف تراز شدت دو صوت را می‌توان به صورت زیر حساب کرد:

$$\begin{cases}\beta_1=10\log\frac{I_1}{I_0}\\ \beta_2=10\log\frac{I_2}{I_0}\end{cases}\Rightarrow\beta_2-\beta_1=10(\log\frac{I_2}{I_0}-\log\frac{I_1}{I_0})\xrightarrow{(\log a-\log b=\log\frac{a}{b})}\beta_2-\beta_1=10\log\frac{\frac{I_2}{I_0}}{\frac{I_1}{I_0}}\Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta\beta=10\log\frac{I_2}{I_1}\ \text{(برحسب دسی‌بل)}}$$

تست برای آن‌که تراز شدت صوتی ۶ دسی‌بل افزایش یابد، شدت صوت باید چند برابر شود؟ $(\log2=0/3)$ (سراسری ریاضی ■ ۸۱)

۱) ۴ ۲) ۹ ۳) ۶ ۴) ۲

پاسخ گزینهٔ ۱ به کمک رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت می‌توان نوشت:

$$\Delta\beta=10\log\frac{I_2}{I_1}\Rightarrow6=10\log\frac{I_2}{I_1}\Rightarrow\log\frac{I_2}{I_1}=0/6$$

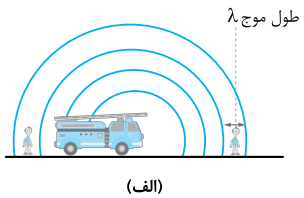
$0/6$ را به صورت یک عدد لگاریتمی بنویسید: $0/6=2\times0/3=2\log2\xrightarrow{(n\log a=\log a^n)}0/6=\log2^2=\log4$

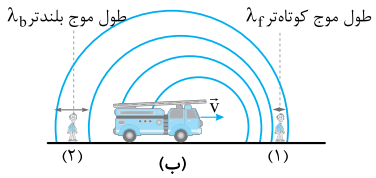
بنابراین: $\log\frac{I_2}{I_1}=0/6=\log4\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=4$

اثر دوپلر

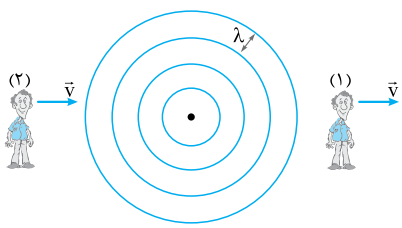
اگر یک چشمهٔ صوتی و شنونده‌ای نسبت به یکدیگر حرکت کنند، بسامد صوتی که به گوش شنونده می‌رسد، متفاوت با بسامدی است که شنونده در حال سکون از چشمهٔ ساکن دریافت می‌کند که به این پدیده **«اثر دوپلر»** می‌گویند. اثر دوپلر را در دو حالت بررسی می‌کنیم:

الف) چشمهٔ متحرک و ناظر ساکن: در شکل مقابل (الف) یک ماشین آتش‌نشانی ساکن است و جبهه‌های موج صوتی حاصل از آژیر ماشین در جلو و عقب ماشین تراکم یکسانی دارند. اگر مطابق شکل (ب) ماشین به یک طرف حرکت کند، امواج صوتی در جلوی ماشین به هم نزدیک‌تر و در عقب ماشین از هم دورتر می‌شوند؛ بنابراین طول موج در جلوی ماشین کوچک‌تر از قبل $(\lambda_f<\lambda)$ و در عقب ماشین بلندتر از قبل $(\lambda_b>\lambda)$ می‌شود. بنابراین، بسامد صوتی که به گوش ناظر (۱) می‌رسد بیشتر از بسامد صوتی است که به گوش ناظر (۲) می‌رسد.





ب) چشمهٔ ساکن و ناظر متحرک: اگر چشمه، ساکن باشد، طول موج در جلو و عقب چشمه **برابر** خواهد بود. با این حال، مطابق شکل روبه‌رو، شنونده‌ای که به سمت چشمه حرکت می‌کند (ناظر (۲)) در هر ثانیه موج‌های بیشتری را (در مقایسه با حالتی که ساکن است) دریافت می‌کند و ناظری که از چشمه دور می‌شود (ناظر (۱)) در هر ثانیه موج‌های کم‌تری را (در مقایسه با حالتی که ساکن است) دریافت می‌کند؛ بنابراین، بسامد صوتی که به گوش ناظر (۲) می‌رسد، بیشتر از بسامد صوتی است که به گوش ناظر (۱) می‌رسد.



اثر دوپلر نه تنها برای امواج صوتی بلکه برای امواج الکترومغناطیسی، مانند میکروموج‌ها، موج‌های رادیویی و نور مرئی نیز برقرار است.

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۱۸۷۲- کدام‌یک از عبارت‌های زیر دربارهٔ انتشار موج صوتی در هوا درست است؟

۱) صوت یک موج مکانیکی عرضی است که به صورت تپ‌های انبساطی و تراکمی منتقل می‌شود.

۲) ضمن انتشار موج صوتی مولکول‌های هوا همراه موج از محلی به محل دیگر منتقل می‌شوند.

۳) حرکت تپ تراکمی و مولکول هوا، هر دو یکنواخت است.

۴) طول پاره‌خط نوسان مولکول هوا، با مقدار پیشروی تپ تراکمی در یک دوره برابر نیست.

۱۸۷۳- مطابق شکل روبه‌رو، یک گوشی تلفن همراه را در یک محفظهٔ تخلیهٔ هوای شیشه‌ای آویزان کرده‌ایم. گوشی را روی صدای بلند تنظیم کرده و با آن تماس برقرار کرده‌ایم. در همین حال پمپ تخلیهٔ هوا را به کار می‌اندازیم. با گذشت زمان چه اتفاقی می‌افتد و از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟ *(کتاب درسی ■)*

۱) تماس به تدریج مختل و سرانجام قطع می‌شود. ـ برای انتشار موج الکترومغناطیسی به محیط مادی نیاز است.

۲) تماس برقرار می‌ماند و صدای گوشی را با همان بلندی اولیه می‌شنویم. ـ برای انتشار صوت به محیط مادی نیاز است.

۳) تماس برقرار می‌ماند ولی صدای گوشی به تدریج ضعیف و سرانجام خاموش می‌شود. ـ برای انتشار موج الکترومغناطیسی به محیط مادی نیاز است.

۴) تماس برقرار می‌ماند ولی صدای گوشی به تدریج ضعیف و سرانجام خاموش می‌شود. ـ برای انتشار صوت به محیط مادی نیاز است.

۱۸۷۴- امواج فراصوت و امواج فرابنفش، هر دو ..... *(سراسری تجربی ▲ ۹۳ خارج)*

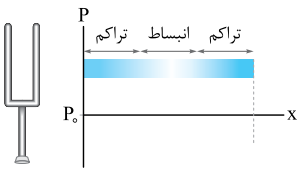
۱) در خلأ منتشر می‌شوند و هر دو موج عرضی هستند.

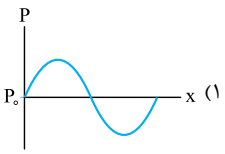
۲) حامل انرژی‌اند، ولی اختلاف تندی آن‌ها خیلی زیاد است.

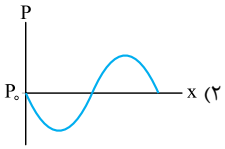
۳) حامل انرژی‌اند و هر دو از موج‌های الکترومغناطیسی هستند.

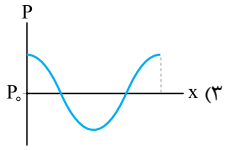
۴) در خلأ منتشر می‌شوند، ولی اولی موج طولی و دومی موج عرضی است.

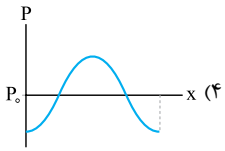
۱۸۷۵- شکل داده‌شده، موج صوتی حاصل از یک دیاپازون را در یک لحظه نشان می‌دهد. در محدودهٔ نشان داده شده، نمودار تغییرات فشار محیط (P) برحسب مکان (x) مطابق کدام گزینه است؟ *(امتحان هماهنگ تجربی ▲ ۹۱)*



۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

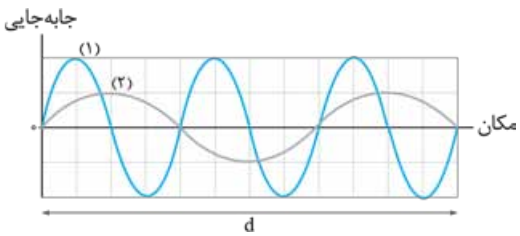
۱۸۷۶- یک دیاپازون، صوتی با بسامد ۸۵۰ Hz تولید می‌کند که با تندی ۳۴۰ m / s در هوا منتشر می‌شود. کم‌ترین فاصلهٔ بین دو نقطه که در یکی فشار بیشینه و در دیگری فشار برابر فشار اتمسفر است، چند سانتی‌متر است؟

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۴۰ ۴) ۸۰

۱۸۷۷- در یک موج طولی که با تندی ۱۲ m / s در محیط منتشر می‌شود، فاصلهٔ بین یک تراکم بیشینه و یک انبساط بیشینهٔ متوالی برابر با ۱۰ cm می‌باشد و در نقطه‌ای که وسط این فاصله قرار دارد، اندازهٔ جابه‌جایی یک ذره از محیط نسبت به وضع تعادلش ۴ cm است. چند ثانیه طول می‌کشد تا هر ذرهٔ محیط، مسافت ۲۴ cm را طی کند؟

۱) $\frac{۱}{۴۰}$ ۲) $\frac{۱}{۲۰}$ ۳) $\frac{۳}{۴۰}$ ۴) $\frac{۱}{۱۰}$

۱۸۷۸- در شکل روبه‌رو، نمودار جابه‌جایی - مکان دو موج صوتی جداگانهٔ (۱) و (۲) در یک محیط انتشار رسم شده است. اگر در زمانی که موج (۱) مسافت d را می‌پیماید، هر ذرهٔ محیط مسافت ۳۲ cm را طی کند، در زمانی که موج (۲) همین مسافت را می‌پیماید، هر ذرهٔ محیط چه مسافتی را برحسب سانتی‌متر طی می‌کند؟ (امواج صوتی تخت فرض می‌شوند.)



۱) ۴ ۲) ۸

۳) ۱۲ ۴) ۱۶

۱۸۷۹- یک موج صوتی از هوا وارد آب می‌شود. طول موج و دورهٔ موج صوتی به ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟

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

۱۸۸۰- کدام‌یک از عامل‌های زیر بر تندی صوت در هوا مؤثر است؟ *(کتاب درسی ■)*

۱) شکل موج ۲) دامنهٔ موج ۳) بسامد موج ۴) دمای هوا

۱۸۸۱- شخصی با چکش 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 ۰/۱۲ s می‌شنود. اگر تندی صوت در هوا ۳۵۰ m / s باشد، طول میله چند متر است؟ *(کتاب درسی ■)*

۱) ۴۵ ۲) ۴۸ ۳) ۶۷۵ ۴) ۷۲۰

۱۸۸۲- شخصی با چکش به یک سر دو لولهٔ توخالی و هم‌جنس به طول‌های L و 2L ضربه می‌زند. شخص دیگری که گوش خود را نزدیک سر دیگر لوله‌ها گذاشته، از هر لوله دو صدا را یکی از دیوارهٔ لوله و دیگری از هوای درون لوله با اختلاف زمانی معین می‌شنود. اگر این اختلاف زمانی برای لولهٔ کوتاه‌تر ۱/۶ s باشد، اختلاف زمانی یادشده برای لولهٔ دیگر چند ثانیه است؟

۱) ۶/۴ ۲) ۳/۲ ۳) ۰/۸ ۴) ۰/۴

۱۸۸۳- کدام‌یک از عبارت‌های زیر دربارهٔ ادراک شنوایی، نادرست است؟

الف) دو ویژگی متمایز هر تُن، ارتفاع و بلندی است.

ب) بلندی صوت را می‌توان با آشکارساز اندازه‌گیری کرد.

پ) دو صوت با شدت یکسان و بسامد متفاوت را با بلندی یکسانی می‌شنویم.

ت) بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گسترهٔ ۲ kHz تا ۵ kHz است.

۱) فقط (ب) ۲) (ب) و (پ) ۳) (پ) و (ت) ۴) (الف) و (ت)

۱۸۸۴- اگر تندی صوت در هوا ۳۴۰ m / s باشد، طول موج صداهایی که گوش انسان در هوا قادر به شنیدن آن‌ها است، در چه محدوده‌ای برحسب میلی‌متر قرار دارند؟

۱) $۲۰ \le \lambda \le ۲۰۰۰۰$ ۲) $۱۷ \le \lambda \le ۱۷۰۰۰$ ۳) $۳۴ \le \lambda \le ۳۴۰۰۰$ ۴) $۴۰ \le \lambda \le ۴۰۰۰۰$

۱۸۸۵- اگر یک دیاپازون معین را با ضربه‌هایی متفاوت به ارتعاش درآوریم، صداهایی با ..... یکسان، اما با ..... متفاوت حس می‌کنیم، زیرا ..... صدایی که می‌شنویم، تغییر می‌کند. *(کتاب درسی ■)*

۱) ارتفاع ـ بلندی ـ بسامد ۲) ارتفاع ـ بلندی ـ شدت ۳) بلندی ـ ارتفاع ـ بسامد ۴) بلندی ـ ارتفاع ـ شدت

۱۸۸۶- دامنهٔ نوسان یک چشمهٔ صوت که حرکت هماهنگ ساده دارد را، ۲ برابر می‌کنیم. با ثابت‌ماندن سایر کمیت‌های مربوط به چشمه، در یک فاصلهٔ معین، شدت و بلندی صوت چگونه تغییر می‌کنند؟

۱) شدت و بلندی صوت هر دو، ۲ برابر می‌شوند.

۲) شدت و بلندی صوت هر دو، ۴ برابر می‌شوند.

۳) شدت صوت ۲ برابر می‌شود، اما بلندی صوت با آن‌که افزایش می‌یابد، ۲ برابر نمی‌شود.

۴) شدت صوت ۴ برابر می‌شود، اما بلندی صوت با آن‌که افزایش می‌یابد، ۴ برابر نمی‌شود.

۱۸۸۷- صفحهٔ حساسی به مساحت $۳\ cm^۲$ بر راستای انتشار صوت عمود است و در مدت ۵ ثانیه، $۱/۵ \times ۱۰^{-۱۱}\ J$ انرژی صوتی به صفحه می‌رسد. شدت صوت در سطح این صفحه چند میکروووات بر متر مربع است؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۵)*

۱) $۲/۵ \times ۱۰^{-۸}$ ۲) $۱۰^{-۸}$ ۳) ۰/۰۱ ۴) ۰/۲۵

۱۸۸۸- شدت صوت در فاصلهٔ d متری از یک چشمهٔ صوتی برابر I و در فاصلهٔ $(d+۵)$ متری از همان چشمه برابر $\frac{۱۶}{۲۵}I$ است. اگر اتلاف انرژی صوتی در محیط ناچیز باشد، d چند متر است؟ *(آزاد ریاضی ▲ ۷۵)*

۱) ۵ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) ۲۰

۱۸۸۹- توان یک چشمهٔ صوتی $۴\pi \times ۱۰^{-۸}\ W$ است. اگر اتلاف انرژی صوتی ناچیز باشد، در فاصلهٔ چند متری از این چشمه، صوت آن به زحمت شنیده می‌شود؟ $(I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) $۱۰^۴$ ۴) ۲×۱۰^۴

۱۸۹۰- اگر شدت صوت مرجع و آستانهٔ دردناکی به ترتیب $۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$ و $۱\ W/m^۲$ باشند، تراز شدت صوت مرجع و آستانهٔ دردناکی به ترتیب چند بل هستند؟

۱) صفر، ۱۲۰ ۲) صفر، ۱۲ ۳) ۱۲، صفر ۴) ۱۲۰، صفر

۱۸۹۱- شدت صوتی $۳/۲ \times ۱۰^{-۵}\ W/m^۲$ است. تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟ $(I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲ , \log ۲ = ۰/۳)$ *(سراسری ریاضی ▲ ۹۲)*

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۶۵ ۴) ۷۵

۱۸۹۲- به سطح یک میکروفون که مساحت آن $۳\ cm^۲$ است، در مدت ۵ ثانیه، $۱/۵ \times ۱۰^{-۱۱}\ J$ انرژی صوتی می‌رسد. اگر سطح این میکروفون عمود بر راستای انتشار صوت باشد، تراز شدت صوت در سطح میکروفون چند بل است؟ $(I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$

۱) ۴۰ ۲) ۸۰ ۳) ۴ ۴) ۸

۱۸۹۳- توان یک چشمهٔ صوت نقطه‌ای $۱\pi/۰$ وات است. تراز شدت صوت آن در فاصلهٔ ۲۵ متری از چشمه چند دسی‌بل است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$

۱) ۷۴ ۲) ۷۶ ۳) ۸۲ ۴) ۸۴

۱۸۹۴- تراز شدت صوتی ۴۳ دسی‌بل است. شدت این صوت چند وات بر متر مربع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$ *(سراسری ریاضی ■ ۸۶)*

۱) ۳×۱۰^{-۸} ۲) ۲×۱۰^{-۸} ۳) ۳×۱۰^{-۴} ۴) ۲×۱۰^{-۴}

۱۸۹۵- تراز شدت صوتی ۶۶ دسی‌بل است. شدت این صوت چند وات بر متر مربع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$

۱) ۴×۱۰^{-۶} ۲) ۴×۱۰^{-۱۰} *(سراسری تجربی ■ ۹۲ خارج، مشابه سراسری تجربی ۹۱ خارج)*

۳) ۶×۱۰^{-۶} ۴) ۶×۱۰^{-۱۰}

۱۸۹۶- تراز شدت صوتی ۲۴ دسی‌بل است. شدت این صوت چند وات بر متر مربع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲)$ *(سراسری تجربی ▲ ۷۸)*

۱) ۴×۱۰^{-۱۰} ۲) $۲/۵ \times ۱۰^{-۱۰}$ ۳) ۴×۱۰^{-۲} ۴) $۲/۵ \times ۱۰^{-۲}$

۱۸۹۷- تراز شدت صوتی ۱۵ دسی‌بل است. شدت این صوت چند برابر شدت صوت مرجع است؟ $(\log ۲ = ۰/۳)$ *(سراسری تجربی ■ ۹۳)*

۱) ۲۴ ۲) ۳۰ ۳) ۳۲ ۴) ۵۰

۱۸۹۸- آستانهٔ شنوایی شخص به خاطر سال‌ها کار در معرض صداهایی با تراز شدت بالا به طور دائم به ۲۸ dB افزایش پیدا کرده است. این شخص نمی‌تواند صداهایی با شدت I را بشنود که گوش انسان سالم آن‌ها را می‌شنود. کدام گزینه می‌تواند اندازهٔ I در SI باشد؟ $(\log ۲ = ۰/۳ , I_۰ = ۱۰^{-۶}\ \mu W/m^۲)$ *(کتاب درسی ▲)*

۱) ۲×۱۰^{-۱۳} ۲) ۵×۱۰^{-۱۰} ۳) ۲×۱۰^{-۹} ۴) ۵×۱۰^{-۹}

۱۸۹۹- شنونده‌ای که مساحت پردهٔ گوشش ۶۰ میلی‌متر مربع است، تراز شدت صوت حاصل از یک منبع را ۵۰ دسی‌بل احساس می‌کند. انرژی‌ای که در مدت ۵۰ ثانیه به پردهٔ گوش این شنونده می‌رسد، چند میکروژول است؟ ($I_0 = 10^{-6}\ \mu W/m^2$) (سراسری تجربی ■ ۹۴ خارج، مشابه سراسری تجربی ۹۰ خارج)

۱) ۳ ۲) ۶ ۳) 3×10^{-4} ۴) 6×10^{-4}

۱۹۰۰- یک منبع صوت، در یک فضای باز امواجی را گسیل می‌کند و در فاصلهٔ ۵ متری آن تراز شدت صوت ۶۰ دسی‌بل است. توان منبع صوت چند میلی‌وات است؟ (از اتلاف انرژی صوتی در هوا صرف نظر شود و $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$) (سراسری تجربی ■ ۹۷ خارج)

۱) $0/1\pi$ ۲) $0/2\pi$ ۳) $0/01\pi$ ۴) $0/02\pi$

۱۹۰۱- توان چشمهٔ صوتی ۴۸ وات است. در فاصلهٔ چند متری این چشمه، تراز شدت صوت ۸۰ دسی‌بل است؟ (صوت در همهٔ جهات پخش می‌شود و از جذب انرژی توسط محیط صرف نظر شود، $\pi = 3$ و $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$) (سراسری ریاضی ■ ۹۹ خارج، مشابه سراسری تجربی ۸۹)

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) ۶۰۰ ۴) ۸۰۰

۱۹۰۲- اگر با زیادکردن دامنهٔ یک صوت، شدت صوتی که به گوش می‌رسد، ۱۰۰۰ برابر شود، تراز شدت صوتی که می‌شنویم، چگونه تغییر می‌کند؟

۱) ۳۰ برابر می‌شود. ۲) ۳ برابر می‌شود.
۳) ۳۰ دسی‌بل افزایش می‌یابد. ۴) ۳ دسی‌بل افزایش می‌یابد.

(سراسری تجربی ■ ۹۹، مشابه کتاب درسی)

۱۹۰۳- اگر شدت صوت $2\sqrt{10}$ برابر شود، تراز شدت صوت چگونه تغییر می‌کند؟ ($\log 2 = 0/3$) (سراسری تجربی ■ ۹۰)

۱) ۸ برابر می‌شود. ۲) ۴۰ برابر می‌شود. ۳) ۸ دسی‌بل افزایش می‌یابد. ۴) ۴۰ دسی‌بل افزایش می‌یابد.

۱۹۰۴- شدت دو صوت ۱۰۰ و ۵۰۰ میکروواط بر سانتی‌متر مربع است. تراز شدت صدای بلندتر، چند دسی‌بل بیشتر از تراز شدت صوت دیگر است؟ ($\log 2 = 0/3$) (سراسری ریاضی ■ ۹۱ خارج)

۱) ۰/۳ ۲) ۰/۷ ۳) ۳ ۴) ۷

۱۹۰۵- اختلاف تراز شدت دو صوت برابر با ۳ دسی‌بل است. شدت صوت قوی‌تر چند برابر شدت صوت ضعیف‌تر است؟ ($\log 2 = 0/3$) (سراسری تجربی ■ ۹۵ خارج)

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

۱۹۰۶- اگر صدایی ۱۲ دسی‌بل بلندتر از صدای دیگر باشد، شدت صدای بلندتر چند برابر شدت صدای دیگر است؟ ($\log 2 = 0/3$) (سراسری ریاضی ■ ۹۷)

۱) ۱۶ ۲) ۳۲ ۳) 10^2 ۴) 10^{12}

۱۹۰۷- اگر شدت صوت چشمه‌ای را ۸ برابر کنیم، تراز شدت صوت برای شنونده‌ای که به فاصلهٔ معینی از چشمه قرار دارد، ۱/۳ برابر می‌شود. تراز شدت صوت اولیه برای شنونده چند دسی‌بل بوده است؟ ($\log 2 = 0/3$) (سراسری ریاضی ■ ۹۵ خارج)

۱) ۲۰ ۲) ۲۴ ۳) ۳۰ ۴) ۳۹

۱۹۰۸- اگر شدت صوتی را ۱۶ برابر کنیم، تراز شدت آن ۵ برابر می‌شود. اگر $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$ باشد، شدت اولیهٔ صوت چند وات بر متر مربع است؟ (سراسری تجربی ■ ۹۱)

۱) 2×10^{-12} ۲) $3/2\times10^{-12}$ ۳) 4×10^{-12} ۴) 5×10^{-12}

۱۹۰۹- در فاصلهٔ ۲۰ متری از یک منبع صوت، تراز شدت صوت ۸۰ دسی‌بل است. در چند سانتی‌متری منبع، تراز شدت صوت ۱۲۰ دسی‌بل است؟ (از جذب انرژی صوتی توسط محیط صرف نظر کنید) (سراسری تجربی ■ ۹۷، مشابه سراسری ریاضی ۹۰ خارج)

۱) ۲۰ ۲) ۴۰ ۳) ۸۰ ۴) ۲۰۰

۱۹۱۰- اگر شخصی فاصلهٔ خود را از یک چشمهٔ صوت ۰/۱ برابر فاصلهٔ اولیه کند، تراز شدت صوتی که می‌شنود، چند دسی‌بل و چگونه تغییر می‌کند؟ (از اتلاف انرژی صوتی در هوا صرف نظر می‌شود.) (سراسری ریاضی ▲ ۸۵)

۱) ۱۰، کاهش ۲) ۱۰، افزایش ۳) ۲۰، کاهش ۴) ۲۰، افزایش

۱۹۱۱- دو شخص به فاصله‌های d_1 و d_2 از یک چشمهٔ صوت قرار دارند. شخصی که در فاصلهٔ d_1 قرار دارد، صدا را ۱۸ دسی‌بل بلندتر می‌شنود. $\frac{d_2}{d_1}$ کدام است؟ ($\log 2 = 0/3$ و از جذب انرژی صوت توسط محیط صرف نظر شود.) (سراسری ریاضی ■ ۹۹، مشابه سراسری ریاضی ۹۱)

۱) ۴ ۲) ۸ ۳) ۹ ۴) ۱۶

۱۹۱۲- در یک فضای باز، وقتی شنونده‌ای فاصلهٔ خود را تا منبع صوت از r_1 به r_2 می‌رساند، تراز شدت صوت از ۵۴ دسی‌بل به ۴۰ دسی‌بل کاهش می‌یابد. اگر $r_2 - r_1 = 36\ m$ باشد، r_1 چند متر است؟ ($\log 2 = 0/3$) (سراسری ریاضی ■ ۹۷ خارج)

۱) ۳ ۲) ۶ ۳) ۹ ۴) ۱۲

۱۹۱۳- شدت صوت یک سخنران در یک سالن در فاصلهٔ ۴ متری از او برابر $10^{-6}\ W/m^2$ است. تراز شدت صوت سخنران در فاصلهٔ ۲۰ متری آن چند دسی‌بل است؟ ($I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$، $\log 2 = 0/3$ و اتلاف انرژی صوتی در محیط ناچیز است.)

۱) ۴۶ ۲) ۴۸ ۳) ۷۲ ۴) ۷۴

۱۹۱۴- سه نقطهٔ A، B و C در محیط انتشار یک صوت و به همراه چشمهٔ صوت، همگی روی یک خط راست قرار دارند. نقطهٔ A به فاصلهٔ ۱۰ متری از چشمهٔ صوت قرار دارد و تراز شدت صوت در این نقطه ۲۰ dB بیشتر از تراز شدت صوت در نقطهٔ B و تراز شدت صوت در نقطهٔ C، ۱۰ dB کم‌تر از تراز شدت صوت در نقطهٔ B است. فاصلهٔ AC چند متر است؟ ($\log 2 = 0/3, \log 3 = 0/5$)

۱) ۳۰ ۲) ۱۶۰ ۳) ۲۶۰ ۴) ۲۷۰

۱۹۱۵- در فاصلهٔ ۲۰ m از چشمهٔ صوتی تراز شدت صوت ۶۰ dB است. با این فرض که جذب صوت به وسیلهٔ هوا قابل چشم‌پوشی است، حداقل در فاصلهٔ چند کیلومتری از این چشمه، صوت آن به زحمت شنیده می‌شود؟ ($I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$)

۱) ۰/۲ ۲) ۰/۴ ۳) ۲۰ ۴) ۴۰

۱۹۱۶- دامنهٔ ارتعاشات یک موج صوتی ۲۰ درصد کاهش داده می‌شود. در یک نقطهٔ معین، تراز شدت صوت، چند دسی‌بل کاهش می‌یابد؟ ($\log ۲ = ۰/۳$)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۱۴ ۴) ۲۰ *(سراسری ریاضی ■ ۹۶)*

۱۹۱۷- یک دستگاه صوتی، در یک نقطه صدایی با تراز شدت $\beta_۱$ ایجاد می‌کند. با ۵ برابرکردن دامنهٔ صوت نسبت به حالت اول، تراز شدت صوت در همان نقطه به ۹۵ dB می‌رسد. $\beta_۱$ چند دسی‌بل بوده است؟ ($\log ۲ = ۰/۳$)

۱) ۸۱ ۲) ۸۵ ۳) ۸۸ ۴) ۹۰

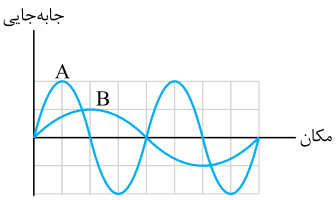
۱۹۱۸- اگر دامنهٔ چشمهٔ صوتی را ۴ برابر کنیم، برای یک شنوندهٔ معین، تراز شدت صوت ۳/۱ برابر می‌شود. در این حالت، تراز شدت صوت برای آن شنونده به چند دسی‌بل می‌رسد؟ ($\log ۲ = ۰/۳$) *(سراسری ریاضی ■ ۹۵)*

۱) ۱۲ ۲) ۳۲ ۳) ۴۰ ۴) ۵۲

۱۹۱۹- اگر با تغییر در چشمهٔ موجی دامنه و بسامد آن را ۲ برابر و فاصلهٔ خود از چشمهٔ موج را ۵ برابر کنیم، تراز شدت صوتی که می‌شنویم چند دسی‌بل و چگونه تغییر می‌کند؟ (اتلاف انرژی صوت در هوا ناچیز و $\log ۲ = ۰/۳$ است.)

۱) ۲۰، افزایش ۲) ۲۰، کاهش ۳) ۲، افزایش ۴) ۲، کاهش

۱۹۲۰- شکل مقابل، نمودار جابه‌جایی - مکان دو موج صوتی A و B که در یک محیط منتشر شده‌اند را نشان می‌دهد. در فاصلهٔ معینی از چشمهٔ دو موج کدام رابطه بین تراز شدت این دو صوت برحسب دسی‌بل برقرار است؟ ($\log ۲ = ۰/۳$) *(کتاب درسی ▲)*



۱) $\beta_A - \beta_B = ۶$ ۲) $\beta_A - \beta_B = ۱۲$
۳) $\beta_A = ۴\beta_B$ ۴) $\beta_A = ۱۶\beta_B$

۱۹۲۱- تراز شدت صوت در فاصلهٔ معینی از یک چشمهٔ نقطه‌ای صوت، ۵۴ دسی‌بل است. چندتا از این چشمه‌ها را کنار هم قرار دهیم تا تراز شدت صوت در آن نقطه برابر ۶۰ دسی‌بل شود؟ ($\log ۲ = ۰/۳$)

۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۴ ۴) ۶

۱۹۲۲- توان یک چشمهٔ صوت ۵۰۰ میلی‌وات است. اگر در یک فضای باز، شنونده‌ای در فاصلهٔ ۲۰ متری از چشمه، صوت حاصل را با بلندی ۸۰ دسی‌بل احساس کند، در انتشار صوت در این فاصله چند درصد توان توسط محیط جذب شده است؟ ($\pi = ۳ , I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$) *(سراسری ریاضی ■ ۹۶ خارج)*

۱) ۲ ۲) ۴ ۳) ۲۰ ۴) ۴۰

۱۹۲۳- در فاصلهٔ ۱۰ متری از یک چشمهٔ صوت نقطه‌ای، تراز شدت صوت برابر ۱۰۰ dB است و در این فاصله ۱۰٪ از توان موج‌های صوتی به وسیلهٔ مولکول‌های هوا جذب شده است. اگر در فاصلهٔ ۱۰۰ متری از این منبع ۹۱٪ توان موج صوتی به وسیلهٔ مولکول‌های هوا جذب شده باشد، تراز شدت صوت در این محل چند دسی‌بل خواهد بود؟

۱) ۶۰ ۲) ۷۰ ۳) ۸۰ ۴) ۹۰

۱۹۲۴- یک چشمهٔ صوتی که موج‌های صوتی با بسامد f و طول موج λ تولید می‌کند، با سرعت ثابت به ناظر ساکنی نزدیک می‌شود. اگر بسامد و طول موجی که ناظر دریافت می‌کند، f' و λ' باشند، کدام رابطه درست است؟

۱) $\lambda' > \lambda , f' > f$ ۲) $\lambda' > \lambda , f' < f$ ۳) $\lambda' < \lambda , f' > f$ ۴) $\lambda' < \lambda , f' < f$

۱۹۲۵- یک چشمهٔ صوتی ساکن، موج‌های صوتی را با بسامد f و طول موج λ منتشر می‌کند. ناظری که با سرعت ثابت به این چشمه نزدیک می‌شود، صوتی با بسامد f' و طول موج λ' دریافت می‌کند. کدام رابطه درست است؟

۱) $\lambda' < \lambda , f' > f$ ۲) $\lambda' < \lambda , f' < f$ ۳) $\lambda' = \lambda , f' > f$ ۴) $\lambda' = \lambda , f' < f$

۱۹۲۶- یک چشمهٔ صوتی موج‌هایی با بسامد f و طول موج λ منتشر می‌کند. این چشمه و یک ناظر با سرعت‌های ثابت روی یک خط راست به یکدیگر نزدیک و پس از رسیدن به یکدیگر، از هم دور می‌شوند. اگر بسامد و طول موجی که ناظر در حالت نزدیک‌شدن به چشمه دریافت می‌کند $f_۱$ و $\lambda_۱$ و بسامد و طول موجی که ناظر در حال دورشدن از چشمه دریافت می‌کند، $f_۲$ و $\lambda_۲$ باشد، کدام گزینه درست است؟

۱) $f_۲ > f > f_۱$ ۲) $f_۲ < f < f_۱$ ۳) $\lambda_۲ = \lambda = \lambda_۱$ ۴) $\lambda_۲ < \lambda < \lambda_۱$

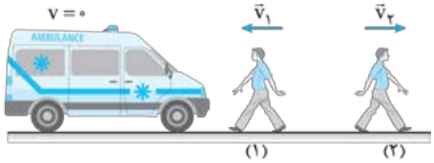
۱۹۲۷- در گزینه‌های زیر، جهت‌های حرکت یک چشمهٔ صوتی (S) و یک ناظر (O) داده شده است. در کدام حالت، بسامدی که ناظر دریافت می‌کند، از بسامد چشمه، کم‌تر است، اما طول موج دریافتی ناظر بلندتر از طول موج چشمه است؟ *(کتاب درسی ■)*

۱) S ● → O ● ۲) S ● ← O ● ۳) S ● → O ● ۴) S ● ← O ●

۱۹۲۸- مطابق شکل، آمبولانسی با آژیر روشن و با سرعت ثابت $v = ۳۶\ km/h$ بین دو ناظر ساکن حرکت می‌کند. طول موج دریافتی توسط ناظر (۱) و (۲) در این حالت به ترتیب $\lambda_۱$ و $\lambda_۲$ است. اگر سرعت حرکت آمبولانس در همان جهت، ۲ برابر شود، طول موج‌های دریافتی توسط ناظر (۱) و (۲) به ترتیب $\lambda'_۱$ و $\lambda'_۲$ می‌شود. کدام گزینه درست است؟

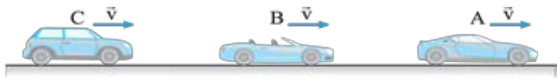
۱) $\lambda'_۱ < \lambda_۱ < \lambda_۲ < \lambda'_۲$
۲) $\lambda'_۲ < \lambda_۲ < \lambda_۱ < \lambda'_۱$
۳) $(\lambda'_۱ = \lambda_۱) < (\lambda'_۲ = \lambda_۲)$
۴) $(\lambda'_۲ = \lambda_۲) < (\lambda'_۱ = \lambda_۱)$

۱۹۲۹- مطابق شکل آمبولانسی ساکن آژیرش را روش می‌کند. شخص (۱) با سرعت $\vec{v}_1$ به طرف آمبولانس حرکت می‌کند و شخص (۲) با سرعت $\vec{v}_2$ از آمبولانس دور می‌شود. طول موج و بسامد دریافتی در این حالت توسط شخص (۱) برابر λ_1 و f_1 و توسط شخص (۲) برابر λ_2 و f_2 است. اگر سرعت هر دو شخص در جهت اولیه ۲ برابر شود، مقادیر بالا به ترتیب برابر با λ'_1، f'_1، λ'_2، f'_2 می‌شوند. کدام گزینه درست است؟



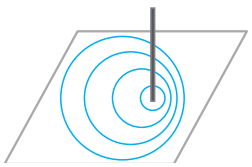
۱) $\lambda'_1 < \lambda_1 < \lambda_2 < \lambda'_2$
۲) $\lambda'_1 = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda'_2$
۳) $f'_1 < f_1 < f_2 < f'_2$
۴) $f'_2 = f_2 = f_1 = f'_1$

۱۹۳۰- مطابق شکل، در یک جادهٔ مستقیم سه اتومبیل A، B و C با سرعت یکسان به دنبال هم در حرکت هستند. اتومبیل B بوق خود را به صدا درمی‌آورد. کدام رابطه برای بسامد (f) و طول موج (λ) صوتی که رانندهٔ اتومبیل‌های A و C دریافت می‌کنند، درست است؟



۱) $\lambda_A = \lambda_C \, , \, f_A = f_C$
۲) $\lambda_A < \lambda_C \, , \, f_A = f_C$
۳) $\lambda_A = \lambda_C \, , \, f_A > f_C$
۴) $\lambda_A < \lambda_C \, , \, f_A > f_C$

۱۹۳۱- شکل روبه‌رو، میله‌ای را نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی یکسان روی سطح آب ضربه می‌زند و جبهه‌های موج دایره‌ای ایجاد می‌کند. میله با تندی ..... از تندی انتشار موج در سطح آب به طرف ..... حرکت می‌کند. *(کتاب درسی ▲)*



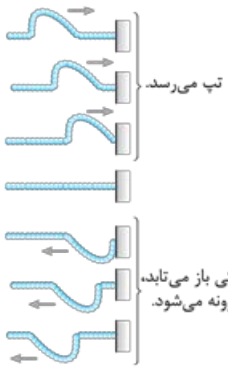
۱) کم‌تر ـ راست
۲) کم‌تر ـ چپ
۳) بیشتر ـ راست
۴) بیشتر ـ چپ

درس ۵ بازتاب موج

یکی از ویژگی‌های مشترک امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی بازتاب آن‌ها از یک سطح است.

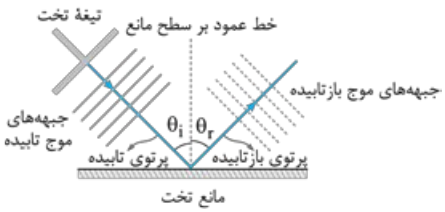
بازتاب امواج مکانیکی

بازتاب در یک بعد: اگر مطابق شکل مقابل، یک انتهای طنابی را به تکیه‌گاهی ثابت وصل کنیم و تپی را در طول طناب ایجاد کنیم، این تپ پس از رسیدن به تکیه‌گاه، نیرویی رو به **بالا** به آن وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتون، تکیه‌گاه نیز با نیرویی رو به **پایین** باعث ایجاد تپی در طناب می‌شود که در جهتی مخالف جهت اولیه در طناب پیش می‌رود. چون تپ در یک راستا به پیش می‌رود، چنین بازتابی را «**بازتاب در یک بعد**» می‌گوییم.



بازتاب در دو بعد: در شکل مقابل با به نوسان درآوردن یک تیغهٔ تخت بر سطح آب، امواج تختی را بر سطح آب تشکیل داده‌ایم. این امواج پس از برخورد به یک مانع تخت، به شکل امواج تخت بازمی‌تابند. این امواج بر سطح آب و در دو بعد منتشر می‌شوند.

نمودار پرتویی: برای نمایش ساده‌تر امواج منتشرشده در دو و سه بعد می‌توانیم مطابق شکل مقابل از پرتوهای مستقیمی که در جهت انتشار موج و عمود بر جبهه‌های موج‌اند، استفاده کنیم.



زاویهٔ تابش و بازتابش: زاویه‌ای را که پرتوی تابش با خط عمود بر مانع می‌سازد، «**زاویهٔ تابش**» و زاویه‌ای را که پرتوی بازتابیده با خط عمود بر مانع می‌سازد، «**زاویهٔ بازتابش**» می‌نامیم. زاویهٔ تابش و بازتابش را به ترتیب با θ_i و θ_r نشان می‌دهند.

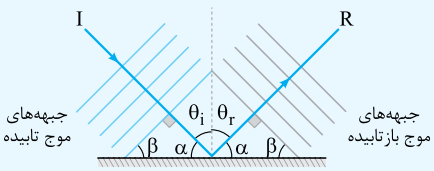
قانون بازتاب عمومی

زاویهٔ تابش برابر زاویهٔ بازتابش است:

$$\theta_i = \theta_r$$

نکته ۱ قانون بازتاب عمومی در مورد **همهٔ امواج (از جمله امواج صوتی و امواج الکترومغناطیسی، همهٔ انواع امواج (تخت، دایره‌ای، کروی و ...) و هر وضعیت مانع** برقرار است.

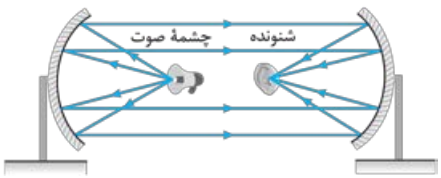
نکته ۲ زاویه‌ای که جبهه‌های موج تابیده (یا بازتابیده) با سطح مانع می‌سازند، برابر زاویهٔ تابش (یا بازتاب) است. در شکل مقابل این زاویه را با β نشان داده‌ایم:



$$\begin{cases} \beta + \alpha = 90^\circ \\ \theta_i + \alpha = 90^\circ \end{cases} \Rightarrow \beta = \theta_i \xrightarrow{\theta_i = \theta_r} \boxed{\beta = \theta_i = \theta_r}$$

بازتاب در سه بعد: امواج صوتی و امواج الکترومغناطیسی می‌توانند در کل فضای سه‌بعدی انتشار یابند و در برخورد با یک سطح بازتابیده شوند. این‌ها نمونه‌ای از بازتاب امواج در سه بعد هستند.

نمونه ۱ شکل مقابل دستگاهی را نشان می‌دهد که بر مبنای بازتاب صوت از سطح خمیده عمل می‌کند. در این دستگاه دو سطح کاو در برابر هم قرار دارند. اگر شخصی روی یکی از کانون‌ها قرار بگیرد و صحبت کند، شنونده‌ای که روی کانون دیگر قرار دارد، صدای او را می‌شنود.



پژواک: پژواک صوتی است که پس از بازتاب و با یک تأخیر زمانی (نسبت به صوت اصلی) به گوش شنونده می‌رسد. گوش انسان در صورتی می‌تواند پژواک یک صوت را از صوت اولیه تمیز دهد (تفکیک کند) که تأخیر زمانی بین آن‌ها **بیشتر از ۰/۱ s** باشد.

تست **کم‌ترین فاصلهٔ بین شما و یک دیوار بلند، چند متر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ (تندی صوت در هوا را ۳۴۰ m / s در نظر بگیرید.)** *(کتاب درسی ■)*

۱) ۱۷ ۲) ۳۴ ۳) ۱۷۰ ۴) ۳۴۰

پاسخ گزینهٔ ۱ اگر فاصلهٔ شخص تا دیوار را l بنامیم، مسافتی که صدا طی می‌کند $2l$ است. با توجه به تندی ثابت صوت، داریم: $2l = vt$

اگر پژواک صدا حداقل ۰/۱ s بعد از صدای اصلی به گوش شخص برسد، این دو صدا از یکدیگر متمایز می‌شوند، پس می‌توان نوشت:

$$t = \frac{2l}{v} \xrightarrow{t \geq 0/1\,s} \frac{2l}{v} \geq 0/1 \Rightarrow \frac{2l}{340} \geq 0/1 \Rightarrow l \geq 17\,m \Rightarrow l_{min} = 17\,m$$

مکان‌یابی پژواکی: تست بالا نشان می‌دهد چگونه می‌توان با دانستن تندی انتشار موج در یک محیط، فاصلهٔ یک جسم تا چشمهٔ صوت را تعیین کرد. به این روش **«مکان‌یابی پژواکی»** می‌گویند.

نکته ۱ در پدیده‌ها و فناوری‌های زیر از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود:

۱) جانورانی مثل خفاش و دلفین ← (کاربرد) تشخیص طعمه یا مانع ← (نوع موج) فراصوت

۲) سونار ← (کاربرد) مکان‌یابی اجسام زیر آب توسط کشتی‌ها ← (نوع موج) صوت یا فراصوت

۳) سونوگرافی ← (کاربرد) عکس‌برداری از بافت‌های داخل بدن ← (نوع موج) فراصوت

۴) اندازه‌گیری تندی شارش خون ← (کاربرد) تشخیص تندی گویچه‌های قرمز در رگ‌ها ← (نوع موج) فراصوت

۵) رادار دوپلری ← (کاربرد) تشخیص مکان و تندی وسایل نقلیه ← (نوع موج) الکترومغناطیسی

نکته ۲ اگر ابعاد مانع کوچک‌تر از طول موج ارسالی باشد بازتاب مؤثری اتفاق نمی‌افتد؛ بنابراین، **برای تشخیص یک جسم، اندازهٔ آن باید در حدود طول موج به کار رفته یا بزرگ‌تر از آن باشد.**

مثال **نوعی خفاش امواج فراصوتی با بسامد ۵۰ kHz و نوعی دلفین امواج فراصوتی با بسامد ۱۰۰ kHz گسیل می‌کنند. اگر تندی انتشار صوت در هوا ۳۰۰ m / s و تندی انتشار صوت در آب ۱۵۰۰ m / s باشد، کدام جانور می‌تواند با استفاده از مکان‌یابی پژواکی، طعمه‌ای به اندازهٔ ۱ cm را شناسایی کند؟**

۱) فقط خفاش ۲) فقط دلفین ۳) هر دو ۴) هیچ‌کدام

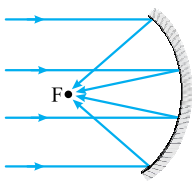
پاسخ گزینهٔ ۱ **گام اول** برای تشخیص یک جسم، اندازهٔ آن باید در حدود طول موج به کار رفته یا بزرگ‌تر از آن باشد. طول موج خفاش را با λ_b و طول موج دلفین را با λ_d نشان می‌دهیم.

$$\lambda_b = \frac{v}{f_b} = \frac{300}{50\times10^3} = 0/6\times10^{-2}\,m = 0/6\,cm$$

$$\lambda_d = \frac{v}{f_d} = \frac{1500}{100\times10^3} = 1/5\times10^{-2}\,m = 1/5\,cm$$

گام دوم اندازهٔ جسم بزرگ‌تر از λ_b و کوچک‌تر از λ_d است. پس خفاش قادر به شناسایی جسم است، ولی دلفین خیر.

نمونه ۲ شکل مقابل نمونه‌ای از بازتاب امواج الکترومغناطیسی در سه بعد را نشان می‌دهد. پرتوهای موازی تابیده به سطح کاو، پس از بازتاب در نقطه‌ای کانونی می‌شوند. از این وسیله در آنتن‌های بشقابی برای دریافت امواج رادیویی و در اجاق‌های خورشیدی برای کانونی‌کردن امواج فروسرخ و گرم‌کردن مواد غذایی استفاده می‌شود.



نکته وسایل زیر بر مبنای تمرکز امواج در یک نقطه و افزایش شدت موج کار می‌کنند:

۱) میکروفون سهموی ← (کاربرد) ثبت صداهای ضعیف ← (نوع موج) صوت

۲) لیتوتریپسی ← (کاربرد) شکستن سنگ کلیه ← (نوع موج) فراصوت

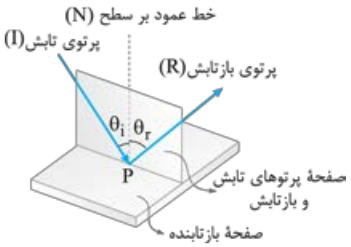
۳) اجاق خورشیدی ← (کاربرد) گرم‌کردن مواد غذایی ← (نوع موج) الکترومغناطیسی (به ویژه امواج فروسرخ)

۴) آنتن بشقابی ← (کاربرد) دریافت امواج رادیویی ← (نوع موج) الکترومغناطیسی (از نوع رادیویی)

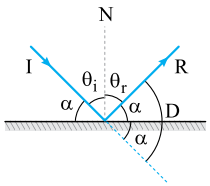
بازتاب نور مرئی: نور مرئی نیز مانند سایر امواج الکترومغناطیسی از قانون بازتاب عمومی امواج پیروی می‌کند.
یعنی در تابش نور مرئی به یک سطح، داریم:

۱) **در هر بازتابشی پرتوی تابش، پرتوی بازتاب و خط عمود بر سطح، هر سه در یک صفحه واقع‌اند.**

۲) **زاویهٔ تابش و زاویهٔ بازتابش با هم برابرند ($\theta_i = \theta_r$).**



زاویه‌ای که پرتوی تابش (یا پرتوی بازتاب) با خط مماس بر سطح در نقطهٔ تابش می‌سازد، متمم زاویهٔ تابش (یا زاویهٔ بازتاب) است؛ یعنی در شکل مقابل داریم: $\theta_i + \alpha = ۹۰^\circ , \theta_r + \alpha = ۹۰^\circ$



نکته اگر پرتوی I به مانع برخورد نمی‌کرد، در مسیر خط‌چین به حرکت خود ادامه می‌داد؛ بنابراین پرتو به اندازهٔ D از مسیر اولیه منحرف شده است.

$$D = ۲\alpha \xrightarrow{\alpha = ۹۰^\circ - \theta_i} D = ۱۸۰^\circ - ۲\theta_i$$

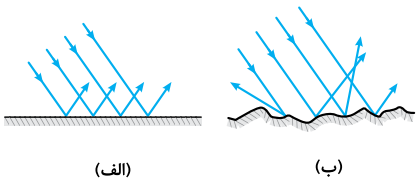
تست **زاویهٔ تابش به یک آینه ۱۰° کاهش می‌یابد. در نتیجه، زاویهٔ محدود به پرتوهای تابش و بازتابش، یک‌سوم مقدار اولیه می‌شود. زاویهٔ تابش اولیه چند درجه بوده است؟**

۱) ۱۵ ۲) $\frac{۳۵}{۲}$ ۳) $\frac{۴۵}{۲}$ ۴) ۲۵

پاسخ گزینهٔ ۱ زاویهٔ محدود به پرتوهای تابش و بازتابش برابر $۲\theta_i$ است؛ لذا می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \theta_{i_۲} = \theta_{i_۱} - ۱۰^\circ \\ ۲\theta_{i_۲} = \frac{۱}{۳} \times (۲\theta_{i_۱}) \Rightarrow \theta_{i_۲} = \frac{۱}{۳}\theta_{i_۱} \end{cases} \Rightarrow \frac{۱}{۳}\theta_{i_۱} = \theta_{i_۱} - ۱۰^\circ \Rightarrow \frac{۲}{۳}\theta_{i_۱} = ۱۰^\circ \Rightarrow \theta_{i_۱} = ۱۵^\circ$$

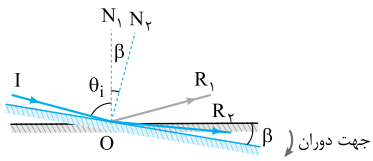
بازتاب منظم و نامنظم: اگر یک دسته پرتوی موازی به یک سطح هموار و تخت بتابند، پرتوهای بازتاب به موازات یکدیگر خواهند بود. بازتابی از نور را که چنین ویژگی‌ای دارد، «بازتاب **منظم**»، یا «بازتاب **آینه‌ای**» می‌نامند (شکل الف). یک دسته پرتوی موازی، پس از برخورد به یک سطح ناصاف، در جهت‌های مختلف بازتابیده می‌شوند و نظم ظاهری خود را از دست می‌دهند. این نوع از بازتاب نور را «بازتاب **نامنظم**» یا «بازتاب **پخشنده**» می‌نامیم (شکل ب).


(الف) (ب)

در بازتاب پخشنده نیز در هر بازتاب، زاویه‌های تابش و بازتاب با هم برابرند و پرتوی تابش، پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح بازتاننده در یک صفحه واقع‌اند.

طول موج نور مرئی حدود $۰/۵\ \mu m$ است؛ بنابراین برای نور مرئی سطحی هموار محسوب می‌شود که ابعاد ناهمواری‌های آن بسیار کوچک‌تر از $۰/۵\ \mu m$ باشد.

اگر در حالی که راستا و سوی پرتوی تابش ثابت است، آینهٔ تخت به اندازهٔ زاویهٔ β حول نقطهٔ تابش (O) دوران کند، پرتوی بازتاب به اندازهٔ زاویهٔ ۲β در همان جهت دوران می‌کند. برای اثبات به شکل مقابل توجه کنید. در حالی که پرتوی I ثابت است، آینه را به اندازهٔ β در جهت ساعتگرد چرخانده‌ایم. پرتوی بازتاب در ابتدا $R_۱$ و پس از دوران آینه $R_۲$ است. با توجه به شکل، داریم:



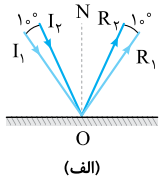
$$\begin{cases} I\hat{O}R_۱ = \theta_i + \theta_r = ۲\theta_i \\ I\hat{O}R_۲ = ۲(\theta_i + \beta) = ۲\theta_i + ۲\beta \end{cases} \Rightarrow R_۱\hat{O}R_۲ = I\hat{O}R_۲ - I\hat{O}R_۱ = ۲\beta$$

تست **پرتویی با زاویهٔ تابش ۳۰°، بر سطح آینهٔ تختی فرود می‌آید. اگر پرتوی تابش و آینه هر دو ۱۰° در یک جهت (و در یک صفحه) دوران کنند، پرتوی بازتاب چند درجه دوران می‌کند؟**

۱) صفر ۲) ۱۰ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

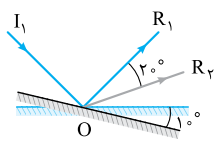
پاسخ گزینهٔ ۲ اثر چرخش پرتوی تابش و آینه بر چرخش پرتوی بازتاب را به طور مستقل بررسی می‌کنیم:

گام اول فرض کنید مطابق شکل (الف)، پرتوی تابش به اندازهٔ ۱۰° در جهت ساعتگرد دوران کند. در این صورت، پرتوی بازتاب به همان اندازه، اما در جهت پادساعتگرد می‌چرخد تا زاویهٔ تابش و بازتاب، دوباره مساوی شوند.



(الف)

گام دوم حالا فرض کنید مطابق شکل (ب)، آینه به اندازهٔ ۱۰° در جهت ساعتگرد بچرخد. در این صورت، پرتوی بازتاب به اندازهٔ $۲۰^\circ = ۲ \times ۱۰^\circ$ در همان جهت (ساعتگرد) می‌چرخد.



(ب)

گام سوم پس پرتوی بازتاب در اثر دوران پرتوی تابش، 10° در جهت پادساعتگرد و در اثر دوران آینه، 20° در جهت ساعتگرد دوران می‌کند که نتیجهٔ این دو، گردش ۱۰ درجه‌ای پرتوی بازتاب در جهت ساعتگرد است:

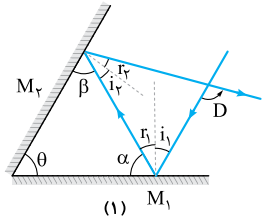
$$\Delta\theta = 2\times 10^\circ - 10^\circ \Rightarrow \Delta\theta = 10^\circ$$

اگر پرتوی تابش و آینه هر دو 10° در جهت پادساعتگرد می‌چرخیدند، پرتوی بازتاب 10° در جهت پادساعتگرد منحرف می‌شد.

آینه‌های متقاطع

یکی از الگوهای رایج در تست‌های کنکور ردیابی مسیر پرتویی است که به یکی از دو آینهٔ تخت متقاطع تابیده و توسط آینهٔ دیگر بازتابیده می‌شود. در نمونهٔ زیر، در سه حالت رایج، رابطهٔ زاویهٔ بین پرتوی بازتابیده از آینهٔ دوم و پرتوی تابیده به آینهٔ اول (D) با زاویهٔ بین دو آینه (θ) بررسی شده است.

نمونه در شکل (۱) که زاویهٔ بین دو آینه حاده است، داریم:

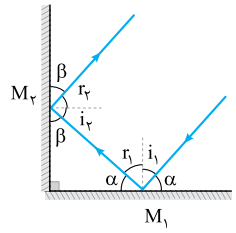


(۱)

$$\begin{cases} D = (i_1 + r_1) + (i_2 + r_2) = 2r_1 + 2i_2 = 2(r_1 + i_2) \quad (I) \\ \theta + \alpha + \beta = 180^\circ \Rightarrow \theta + (90^\circ - r_1) + (90^\circ - i_2) = 180^\circ \Rightarrow \theta = r_1 + i_2 \quad (II) \end{cases}$$

$$\xrightarrow{(I),(II)} D = 2\theta$$

در شکل (۲) که دو آینه بر هم عمودند، داریم:



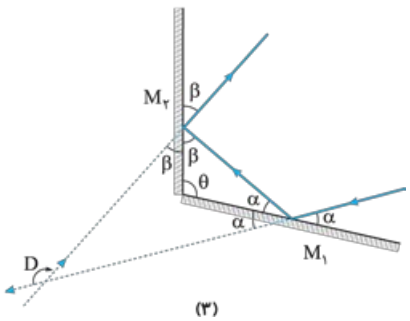
(۲)

$$\begin{cases} \beta + r_2 = 90^\circ \\ \beta + \alpha = 90^\circ \end{cases} \Rightarrow \alpha = r_2$$

پس پرتوی تابیده به آینهٔ M_1 و پرتوی بازتابیده از آینهٔ M_2 با هم موازی‌اند و با توجه به جهت مخالف حرکت پرتوها، با هم زاویهٔ 180° می‌سازند:

$$D = 180^\circ$$

در شکل (۳) که دو آینه با هم زاویهٔ منفرجه می‌سازند، داریم:



(۳)

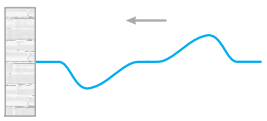
$$\begin{cases} \alpha + \beta + \theta = 180^\circ \Rightarrow \alpha + \beta = 180^\circ - \theta \quad (I) \\ D = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta) \quad (II) \end{cases} \xrightarrow{(I),(II)} D = 360^\circ - 2\theta$$

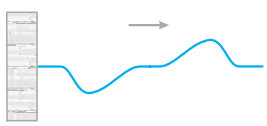
ما از موارد اثبات‌شده در این نمونه در پاسخ تست‌ها استفاده خواهیم کرد!

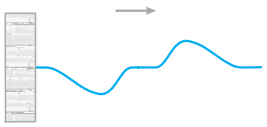
روابط به دست آمده مربوط به حالت‌هایی است که پرتوها فقط یک بار به هر یک از آینه‌ها تابیده شوند. در حالت‌هایی که بیش از یک بازتاب از هر یک از آینه‌ها رخ دهد باید مسیر پرتوها را رسم کرده و مرحله به مرحله اندازهٔ زوایا را تعیین کنیم تا به خواستهٔ تست برسیم.

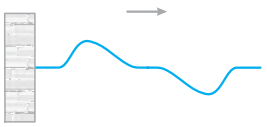
پرسش‌های چهارگزینه‌ای

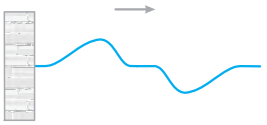
۱۹۳۲- بخشی از یک موج عرضی مانند شکل مقابل، در جهت نشان داده شده در حال انتشار در یک طناب کشیده‌شده است. کدام‌یک از شکل‌های زیر بازتاب این موج از انتهای ثابت تکیه‌گاه را به درستی نشان می‌دهد؟



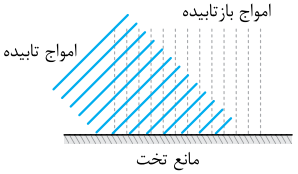
۱) 

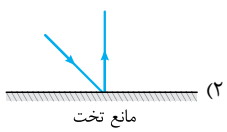
۲) 

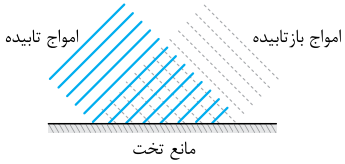
۳) 

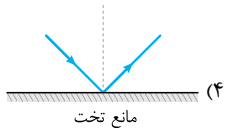
۴) 

۱۹۳۳- کدام شکل نمودار پرتویی بازتاب یک موج تخت از یک مانع تخت را نشان می‌دهد؟ (کتاب درسی ■)

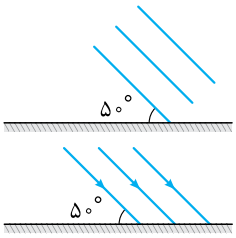
۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۱۹۳۴- شکل روبه‌رو، جبهه‌های موج تختی را نشان می‌دهد که بر سطح مانع تختی فرود آمده‌اند. زاویهٔ بازتاب موج از سطح مانع و زاویهٔ بین جبهه‌های موج فرودی و بازتابیده از مانع به ترتیب از راست به چپ چند درجه است؟

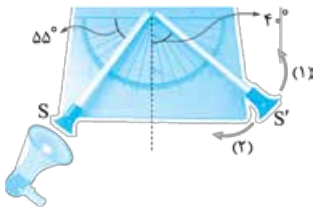


۱) ۴۰، ۸۰
۲) ۴۰، ۵۰
۳) ۵۰، ۸۰
۴) ۵۰، ۵۰

۱۹۳۵- شکل روبه‌رو، پرتوهای موجی را نشان می‌دهد که بر سطح مانع تختی فرود آمده‌اند. زاویهٔ بازتاب پرتوها از سطح مانع و زاویهٔ انحراف پرتوها پس از بازتاب از سطح مانع به ترتیب از راست به چپ چند درجه است؟

۱) ۴۰، ۸۰
۲) ۴۰، ۱۰۰
۳) ۵۰، ۸۰
۴) ۵۰، ۱۰۰

۱۹۳۶- در آزمایش شکل مقابل یک منبع تولید صوت در دهانهٔ لولهٔ S قرار دارد. لولهٔ S′ را به ترتیب چند درجه و در کدام جهت بچرخانیم تا صوت دریافتی توسط شنونده‌ای که در دهانهٔ لولهٔ S′ قرار دارد، با بیشترین بلندی ممکن شنیده شود؟ *(کتاب درسی ▲)*



۱) ۱۵°، (۲)
۲) ۵°، (۲)
۳) ۱۵°، (۱)
۴) ۵°، (۱)

۱۹۳۷- عمق‌یاب یک کشتی یک موج فراصوتی به سوی کف دریا می‌فرستد و زمان بازگشت پژواک را می‌سنجد. اگر در محلی تأخیر زمانی از کف دریا ۰/۴ s باشد، عمق دریا در آن محل چند متر است؟ (تندی امواج فراصوت در آب دریا ۱۵۳۰ m / s است.) *(کتاب فیزیک مفهومی ▲)*

۱) ۳۰۶
۲) ۶۱۲
۳) ۳۸۵۲
۴) ۷۶۵۰

۱۹۳۸- شخصی بین دو صخرهٔ قائم و موازی ایستاده است و فاصله‌اش از صخرهٔ نزدیک‌تر ۵۱۰ متر است. اگر این شخص فریاد بزند، اولین پژواک صدای خود را ۳ ثانیه بعد می‌شنود و پژواک دوم را یک ثانیه پس از آن می‌شنود. فاصلهٔ بین دو صخره چند متر است؟ *(سراسری تجربی ■۹۸)*

۱) ۱۳۶۰
۲) ۱۱۹۰
۳) ۱۰۲۰
۴) ۸۵۰

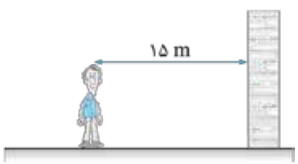
۱۹۳۹- صوت حاصل از یک چشمهٔ ساکن، در مدت ۰/۴ ثانیه به یک دیوار برخورد کرده و به محل چشمه برمی‌گردد. اگر بسامد چشمهٔ صوت ۴۰ کیلوهرتز و طول موج ۸/۷۵ میلی‌متر باشد، فاصلهٔ چشمهٔ صوت تا دیوار چند متر است؟ *(سراسری تجربی ■۹۵)*

۱) ۳۵
۲) ۷۰
۳) ۱۴۰
۴) ۱۷۵

۱۹۴۰- اگر فاصلهٔ شخصی از یک دیوار بلند حداقل ۱۷ m باشد، او می‌تواند پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهد. تندی صوت در محیط چند متر بر ثانیه است؟

۱) ۱۶۰
۲) ۱۷۰
۳) ۳۲۰
۴) ۳۴۰

۱۹۴۱- مطابق شکل روبه‌رو، شخصی در فاصلهٔ ۱۵ متری از یک دیوار بلند ایستاده است. اگر طول گام‌های این شخص ۴۰ cm باشد، حداقل چند گام از دیوار دورتر شود تا بتواند در حالت ایستاده پژواک صدای خود از دیوار را از صدای اصلی‌اش تمیز دهد؟ (تندی صوت در هوا ۳۳۶ m / s است.)



۱) ۳
۲) ۴
۳) ۵
۴) ۶

۱۹۴۲- اتومبیلی با تندی ثابت ۱۰۸ km / h روی خط راست به صخرهٔ قائمی نزدیک می‌شود. در لحظه‌ای که فاصلهٔ اتومبیل از صخره برابر ۱۸۰ m است، راننده بوق می‌زند. اگر تندی انتشار صوت در هوای محیط ۳۳۰ m / s باشد، چند ثانیه بعد از این لحظه راننده صدای پژواک بوق را می‌شنود؟

۱) ۰/۵
۲) $\frac{۶}{۱۱}$
۳) ۱
۴) $\frac{۱۲}{۱۱}$

۱۹۴۳- مطابق شکل مقابل ناظری در مقابل یک رشته پلکان بسیار بلند ایستاده و دست‌های خود را یک بار به هم می‌زند. اگر عرض هر پله ۲۰ cm و تندی صوت در هوا ۳۴۰ m / s باشد، در مدت ۱s پس از اولین پژواک، چه تعداد پژواک به گوش شخص می‌رسد؟ (فرض کنید جبهه‌های موج صوتی موازی با سطح زمین به صورت تخت منتشر می‌شوند و بخشی از پله‌ها رسم شده‌اند.) *(کتاب درسی▲)*

۱) ۸۵
۲) ۱۷۰
۳) ۸۵۰
۴) ۱۷۰۰

۱۹۴۴- بسامد امواج فراصوتی‌ای که وال عنبر تولید می‌کند، حدود ۱۰۰ kHz و تندی صوت در آب دریا حدود ۱۵۰۰ m / s است. این وال، صوتی به طرف مانعی که در ۱۵۰ متری آن قرار دارد، ارسال می‌کند. به ترتیب پژواک این صدا با چند ثانیه تأخیر به وال می‌رسد و حداقل ابعاد مانع حدود چند سانتی‌متر باشد تا وال بتواند آن را تشخیص دهد؟ (فرض کنید در این مدت وال ساکن است.) *(کتاب درسی ▲)*

۱) ۰/۱، ۱۵
۲) ۰/۱، ۱/۵
۳) ۰/۲، ۱۵
۴) ۰/۲، ۱/۵

۱۹۴۵- در کدام موارد زیر، از بازتاب امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود؟ *(سراسری تجربی ■۹۹ خارج)*

الف) رادار دوپلری
ب) سونوگرافی
پ) اجاق خورشیدی
ت) دستگاه سونار در کشتی‌ها

۱) (الف) و (پ)
۲) (الف) و (ب)
۳) (الف)، (ب) و (پ)
۴) (ب)، (پ) و (ت)

۱۹۴۶- در کدام‌یک از موارد زیر از مکان‌یابی پژواکی امواج فراصوت به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود؟ *(سراسری تجربی ■۹۹)*

۱) میکروفون سهموی
۲) دستگاه لیتوتریپسی
۳) تعیین تندی خودروها
۴) تعیین تندی شارش خون (گویچه‌های قرمز) در رگ‌ها

۱۹۴۷- کدام‌یک از عبارت‌های زیر در مورد بازتاب نادرست است؟

۱) وقتی یک دسته پرتوی موازی به صورت پخشنده بازتابیده می‌شود، در هر بازتاب، هم‌چنان زاویه‌های تابش و بازتاب با هم برابرند و در یک صفحه قرار دارند.

۲) وقتی یک باریکهٔ لیزر را به دیوار می‌تابانیم، به علت بازتاب پخشنده، ناظرهای مختلف نقطهٔ رنگی روی دیوار را می‌بینند.

۳) در بازتاب نامنظم برای یک دسته پرتوی موازی نور، زاویهٔ بازتاب همهٔ پرتوها برابر است.

۴) دلیل دیدن اشیا توسط چشم، بازتاب نامنظم نور از سطح اشیا است.

۱۹۴۸- ابعاد ناهمواری‌های سطح یک کاغذ $0/02\ mm$ و ابعاد ناهمواری‌های سطح یک آینه $0/02\ \mu m$ است. نوع بازتاب نور مرئی از سطح کاغذ و سطح آینه به ترتیب از راست به چپ چگونه است؟

۱) منظم، نامنظم ۲) منظم، منظم ۳) نامنظم، منظم ۴) نامنظم، نامنظم

۱۹۴۹- در یک آینهٔ تخت، زاویهٔ بین راستای پرتوی تابش و بازتابش $\frac{1}{4}$ زاویهٔ بین پرتوی تابش و سطح آینه است. زاویهٔ تابش چند درجه است؟ *(سراسری ریاضی ■ ۸۶ خارج)*

۱) ۱۰ ۲) ۱۸ ۳) ۲۰ ۴) ۳۶

۱۹۵۰- پرتویی با زاویهٔ تابش i به سطح یک آینهٔ تخت برخورد می‌کند. اگر زاویهٔ انحراف پرتو در بازتاب از سطح آینه ۶ برابر زاویهٔ بازتاب از سطح آینه باشد، i چند درجه است؟

۱) ۱۰ ۲) ۱۵ ۳) ۲۰ ۴) ۲۲/۵

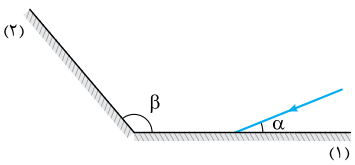
۱۹۵۱- با ثابت نگه‌داشتن پرتوی تابش، آینه را 30° دوران می‌دهیم، در نتیجه زاویهٔ بین پرتوهای تابش و بازتاب ۴ برابر می‌شود. زاویهٔ تابش اولیه چند درجه بوده است؟

۱) ۱۰ ۲) ۱۵ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

۱۹۵۲- پرتوی نوری با زاویهٔ تابش ۳۰ درجه به یک آینهٔ تخت می‌تابد و بعد از بازتاب از آن به آینهٔ تخت دیگر برخورد می‌کند. اگر دو آینه با هم زاویهٔ ۴۵ درجه بسازند، زاویهٔ بازتاب از آینهٔ دوم چند درجه است؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۷)*

۱) ۱۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۳۰

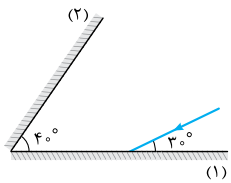
۱۹۵۳- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری تحت زاویهٔ α به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینهٔ (۲) می‌تابد. پرتوی بازتابیده از آینهٔ (۲) چه زاویه‌ای با سطح آن آینه می‌سازد؟ *(سراسری ریاضی ■ ۹۹ خارج)*



۱) $\pi-\beta$ ۲) $\beta-\alpha$

۳) $\pi-(\beta-\alpha)$ ۴) $\pi-(\alpha+\beta)$

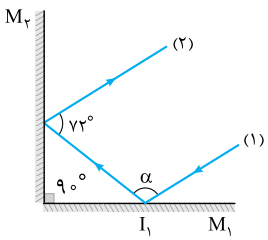
۱۹۵۴- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینهٔ (۲) می‌تابد و در ادامهٔ مسیرش دوباره از آینهٔ (۲) بازتاب می‌شود. زاویهٔ بازتاب آینهٔ (۲) در دومین بازتاب چند درجه است؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۸ خارج)*



۱) ۶۰ ۲) ۵۰

۳) ۴۰ ۴) ۳۰

۱۹۵۵- در شکل مقابل زاویهٔ α چند درجه است و اگر با چرخش اندک پرتوی (۱) در صفحهٔ شکل و حول نقطهٔ I_1، زاویهٔ α کاهش یابد، راستای پرتوهای (۱) و (۲) در وضعیت جدید الزاماً ..... .



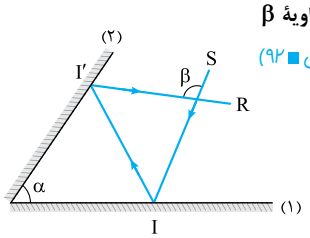
۱) ۹۸ ـ موازی هستند.

۲) ۹۸ ـ یکدیگر را قطع می‌کنند.

۳) ۱۰۸ ـ موازی هستند.

۴) ۱۰۸ ـ یکدیگر را قطع می‌کنند.

۱۹۵۶- مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی SI پس از تابش از آینه‌های تخت در مسیر $I'R$ بازتاب می‌شود. اندازهٔ زاویهٔ β چند برابر زاویهٔ α است؟ *(سراسری ریاضی ■ ۹۲)*



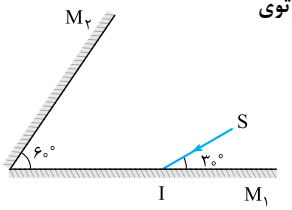
۱) ۱

۲) ۲

۳) $\frac{3}{2}$

۴) بستگی به زاویهٔ تابش آینه (۱) دارد.

۱۹۵۷- در شکل مقابل، پرتوی SI بر سطح آینهٔ M_1 تابیده است. زاویهٔ بین پرتوی خروجی از مجموعه و پرتوی SI چند درجه است؟



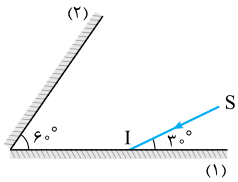
۱) ۶۰

۲) ۱۲۰

۳) ۱۸۰

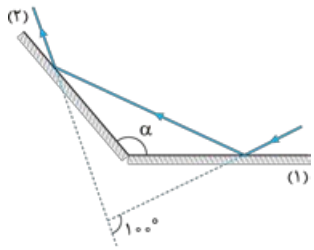
۴) ۲۴۰

۱۹۵۸- مطابق شکل مقابل، پرتوی نور SI به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب از آینهٔ (۲)، دوباره به آینهٔ (۱) می‌تابد. امتداد پرتوی بازتاب نهایی با امتداد پرتوی SI، زاویهٔ چند درجه می‌سازد؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۸)*



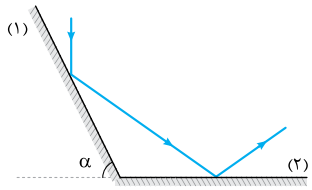
۱) ۱۲۰
۲) ۱۴۰
۳) ۱۶۰
۴) ۱۸۰

۱۹۵۹- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب، به آینهٔ (۲) برخورد می‌کند. اگر امتداد پرتوی تابش آینهٔ (۱) با امتداد پرتوی بازتاب آینهٔ (۲) زاویهٔ 100° بسازد، α چند درجه است؟ *(سراسری ریاضی ■ ۸۸ خارج)*



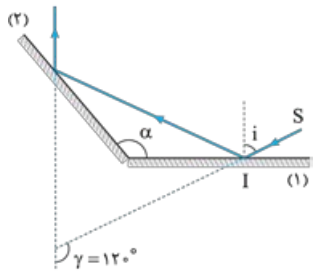
۱) ۱۰۰
۲) ۱۲۰
۳) ۱۳۰
۴) ۱۴۰

۱۹۶۰- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد و در نهایت از آینهٔ تخت (۲) بازتاب می‌شود. پرتوی تابش به آینهٔ (۱) با پرتوی بازتابش از آینهٔ (۲) چه زاویه‌ای می‌سازد؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۶ خارج)*



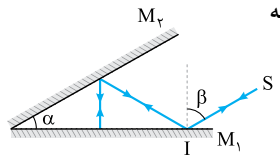
۱) α
۲) 2α
۳) $180-\alpha$
۴) $90+\alpha$

۱۹۶۱- مطابق شکل مقابل، پرتوی SI، تحت زاویهٔ تابش i به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد. زاویهٔ بین پرتوی SI با پرتوی بازتاب آینهٔ (۲)، $\gamma = 120^\circ$ است. اگر زاویهٔ i، 20° افزایش یابد، γ چه تغییری می‌کند؟ *(سراسری ریاضی ■ ۹۹)*



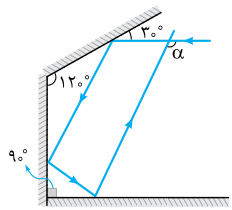
۱) 40° افزایش می‌یابد.
۲) 20° افزایش می‌یابد.
۳) 20° کاهش می‌یابد.
۴) ثابت می‌ماند.

۱۹۶۲- در شکل مقابل، پرتوی SI پس از بازتاب از آینه‌های تخت M_1 و M_2 روی خودش بازتاب می‌شود. چه رابطه‌ای بین زاویه‌های α و β وجود دارد؟



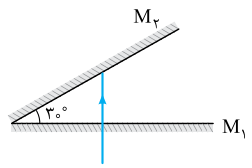
۱) $\alpha = \beta$
۲) $\alpha = 2\beta$
۳) $\beta = 2\alpha$
۴) $\alpha + \beta = 90^\circ$

۱۹۶۳- در شکل روبه‌رو زاویهٔ α چند درجه است؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۵)*



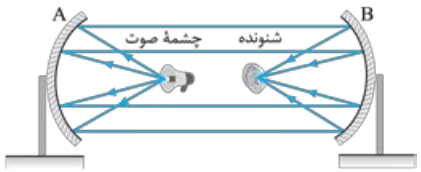
۱) ۱۱۰
۲) ۱۲۰
۳) ۱۳۰
۴) ۱۵۰

۱۹۶۴- دو آینهٔ تخت با طول زیاد، مطابق شکل مقابل، با هم زاویهٔ 30° می‌سازند. در آینهٔ M_1 روزنه‌ای ایجاد شده و باریکهٔ نور به طور عمود بر آینهٔ M_1 از آن می‌گذرد. این نور چند بار در برخورد به آینه‌ها بازتاب خواهد شد؟ *(سراسری ریاضی ■ ۹۴ خارج)*



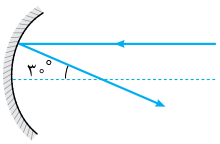
۱) ۱
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۴

۱۹۶۵- دو سطح کاو مشابه با فاصلهٔ کانونی ۲۰ cm مطابق شکل روبه‌رو در فاصلهٔ ۱ متری از هم قرار دارند. چشمهٔ صوت در کانون سطح A قرار دارد و صوت آن با بیشترین شدت ممکن توسط شنونده شنیده می‌شود. فاصلهٔ شنونده از چشمه چند سانتی‌متر است؟



۱) ۲۰
۲) ۴۰
۳) ۶۰
۴) ۸۰

۱۹۶۶- پرتوی مطابق شکل مقابل، موازی با محور اصلی به سطح کاو آینه‌ای می‌تابد. به ترتیب از راست به چپ زاویهٔ تابش و انحراف پرتو چند درجه است؟



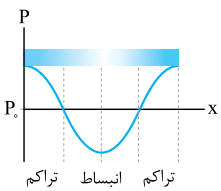
۱) ۱۵، ۳۰
۲) ۳۰، ۳۰
۳) ۱۵، ۱۵۰
۴) ۳۰، ۱۵۰

۱۸۷۲- گزینهٔ ۴ صوت یک موج مکانیکی است که به صورت تپ‌های انبساطی (کم‌فشار) و تراکمی (پرفشار) در هوا منتشر می‌شود و چون در انتشار صوت، ذره‌های هوا در راستای انتشار نوسان می‌کنند، این موج‌ها **طولی**‌اند (نادرستی ۱). می‌دانیم در ضمن انتشار موج‌های پیش‌رونده، انرژی منتقل می‌شود، نه ماده. بنابراین در ضمن انتشار صوت، مولکول‌های هوا در محل خود نوسان می‌کنند، اما از محلی به محل دیگر منتقل **نمی‌شوند** (نادرستی ۲). حرکت تپ تراکمی در هوا یکنواخت است، اما مولکول‌های هوا حرکت **هماهنگ ساده** انجام می‌دهند (نادرستی ۳). مقدار پیش‌روی تپ تراکمی در یک دوره برابر λ است که معمولاً **بسیار بزرگ‌تر** از طول پاره‌خط نوسان مولکول هوا یعنی $2A$ است.

۱۸۷۳- گزینهٔ ۴ با برقراری تماس با گوشی تلفن همراه، صدای زنگ آن را می‌شنویم، ولی با به کار افتادن پمپ تخلیهٔ هوا، صدا به **تدریج ضعیف و سرانجام خاموش می‌شود**، در حالی که امواج الکترومغناطیسی هم‌چنان از محفظه عبور می‌کنند (از روی نور صفحهٔ گوشی می‌توان این موضوع را فهمید که تماس هم‌چنان برقرار است). این آزمایش نشان می‌دهد که **برای انتشار صوت به محیط مادی نیاز است، اما برای انتشار موج الکترومغناطیسی به محیط مادی نیاز نیست.**

۱۸۷۴- گزینهٔ ۲ همهٔ امواج پیش‌رونده مانند صوت و موج الکترومغناطیسی انرژی را از محلی به محل دیگر انتقال می‌دهند و در حقیقت حامل انرژی‌اند. امواج فرابنفش جزء موج‌های الکترومغناطیسی هستند در حالی که امواج فراصوتی جزء امواج مکانیکی هستند. می‌دانیم موج‌های مکانیکی برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند، در حالی که امواج الکترومغناطیسی در خلأ هم منتشر می‌شوند. امواج فراصوتی از نوع طولی هستند، اما همهٔ امواج الکترومغناطیسی عرضی هستند. تندی موج‌های الکترومغناطیسی در حدود تندی نور و خیلی‌زیاد است در حالی که تندی انتشار امواج فراصوتی در حدود چند صد متر بر ثانیه است.

۱۸۷۵- گزینهٔ ۳ در نواحی‌ای که با رنگ تیره نشان داده شده‌اند، مولکول‌های هوا به هم نزدیک‌ترند و بنابراین فشار این نواحی زیاد است، در مقابل در نواحی روشن‌تر، مولکول‌های هوا از هم دورترند و بنابراین فشار این نواحی کم است. در شکل مقابل نمودار تغییرات فشار محیط برحسب مکان رسم شده است.



۱۸۷۶- گزینهٔ ۱ **گام اول** طول موج صوت حاصل از دیاپازون برابر است با:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{۳۴۰}{۸۵۰} = ۰/۴\ m \Rightarrow \lambda = ۴۰\ cm$$

گام دوم نزدیک‌ترین فاصله بین دو نقطه که در یکی فشار بیشینه (یا فشار کمینه) و در دیگری فشار برابر فشار اتمسفر است، برابر $\frac{\lambda}{۴}$ است، بنابراین:

$$\frac{\lambda}{۴} = \frac{۴۰}{۴} = ۱۰\ cm$$

۱۸۷۷- گزینهٔ ۱ **گام اول** مانند موج عرضی که فاصلهٔ بین یک قله و یک درهٔ متوالی $\frac{\lambda}{۲}$ است، در موج طولی هم فاصلهٔ بین یک تراکم و یک انبساط مجاور (متوالی) برابر با $\frac{\lambda}{۲}$ است. داریم:

$$d = \frac{\lambda}{۲} = ۱۰\ cm \Rightarrow \lambda = ۲\times ۱۰ = ۲۰\ cm = ۰/۲\ m$$

گام دوم حالا دورهٔ موج را به دست می‌آوریم که برابر دورهٔ نوسان هر ذره از محیط انتشار موج هم هست:

$$\lambda = vT \Rightarrow ۰/۲ = ۱۲T \Rightarrow T = \frac{۰/۲}{۱۲} = \frac{۰/۱}{۶} = \frac{۱}{۶۰}\,s$$

گام سوم مهم است که بدانید که در موج طولی، در وسط فاصلهٔ بین جمع‌شدگی(تراکم) بیشینه و یک بازشدگی (انبساط) بیشینهٔ مجاور، اندازهٔ جابه‌جایی هر ذره از محیط از وضع تعادلش، بیشینه و برابر با دامنهٔ نوسان آن ذره است. پس: $A = ۴\,cm$

در حرکت هماهنگ ساده دیدید که متحرک در هر دوره مسافت $۴A$ و در هر نیم‌دوره $(\frac{T}{۲})$ مسافت $۲A$ را طی می‌کند. بنابراین کافی است که ببینیم مسافت داده‌شده چه مضرب صحیحی از $۲A$ است:

$$\frac{l}{۲A} = \frac{۲۴}{۲\times۴} = \frac{۲۴}{۸} = ۳$$

پس زمان لازم برای طی این مسافت $(۲۴\,cm)$ هم ۳ برابر $\frac{T}{۲}$ است:

$$\Delta t = ۳\times\frac{T}{۲} = \frac{۳}{۲}T = \frac{۳}{۲}\times\frac{۱}{۶۰} = \frac{۱}{۲\times۲۰} = \frac{۱}{۴۰}\,s$$

۱۸۷۸- گزینهٔ ۲ **گام اول** در شکل نمودار داده‌شده داریم:

$$A_۱ = ۲A_۲ \Rightarrow A_۲ = \frac{A_۱}{۲}$$

تندی صوت (v) در یک محیط انتشار با شرایط ثابت تغییر نمی‌کند. پس زمان طی مسافت d توسط هر دو موج یکسان است و آن را t می‌نامیم. با توجه به شکل، می‌نویسیم:

$$d = ۶(\frac{\lambda_۱}{۲}) = ۳(\frac{\lambda_۲}{۲}) \xrightarrow[\lambda=vT]{d=vt} vt = ۶(\frac{vT_۱}{۲}) = ۳(\frac{vT_۲}{۲}) \Rightarrow t = ۶(\frac{T_۱}{۲}) = ۳(\frac{T_۲}{۲})$$

گام دوم هر ذرهٔ محیط در زمان $\frac{T}{۲}$ (وابسته به یک موج)، مسافت $۲A$ (وابسته به نوسان ذرات در همان موج) را طی می‌کند. هنگام عبور موج (۱) از محیط، هر ذره در زمان $t = ۶(\frac{T_۱}{۲}) = ۳T_۱$، مسافتی به اندازهٔ $l_۱ = ۶\times۲A_۱ = ۳\times۴A_۱ = ۱۲A_۱$ را طی می‌کند.

پس می‌نویسیم:

$$l_۱ = ۱۲A_۱ \Rightarrow ۳۲ = ۱۲A_۱ \Rightarrow A_۱ = \frac{۳۲}{۱۲} = \frac{۸}{۳}\,cm$$

و هنگام عبور موج (۲) از محیط، هر ذره در زمان $۳(\frac{T_۲}{۲})$، مسافتی به اندازهٔ $l_۲ = ۳\times۲A_۲ = ۶A_۲$ را می‌پیماید. بنابراین داریم:

$$l_۲ = ۶A_۲ \xrightarrow{A_۲=\frac{A_۱}{۲}} l_۲ = ۶\times\frac{A_۱}{۲} = ۳A_۱ = ۳\times\frac{۸}{۳} = ۸\,cm$$

۱۸۷۹- گزینهٔ ۲ بسامد موج همواره برابر با بسامد چشمهٔ آن است، بنابراین با ورود صوت از هوا به آب، بسامد و در نتیجه دورهٔ آن **تغییر نمی‌کند** (رد ۱ و ۳)، اما چون تندی انتشار صوت در مایع‌ها بیشتر از گازها است، تندی انتشار صوت با ورود از هوا به آب افزایش می‌یابد و مطابق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$، با افزایش v و ثابت ماندن f، طول موج **افزایش** خواهد یافت.

۱۸۸۰- گزینهٔ ۴ شکل، دامنه و بسامد موج جزء ویژگی‌های چشمهٔ موج است و تغییر در آن‌ها تغییری در محیط انتشار موج و تندی انتشار موج در محیط ایجاد نمی‌کند.

۱۸۸۱- گزینهٔ ۱ می‌دانیم انتشار موج صوتی در هوا و میله، حرکتی یکنواخت است. از طرف دیگر تندی انتشار صوت در میله $(v_۲)$ ۱۵ برابر تندی انتشار صوت در هوا $(v_۱ = ۳۵۰\,m/s)$ است و از رابطهٔ حرکت یکنواخت داریم:

$$x = vt \Rightarrow t = \frac{x}{v} \Rightarrow t_۱ - t_۲ = \frac{x}{v_۱} - \frac{x}{v_۲} \Rightarrow \Delta t = x(\frac{۱}{v_۱} - \frac{۱}{v_۲}) \Rightarrow x = \frac{v_۲v_۱}{v_۲ - v_۱}\Delta t \xrightarrow{v_۲=۱۵v_۱} x = \frac{۱۵v_۱\times v_۱}{۱۵v_۱ - v_۱}\Delta t$$

$$\Rightarrow x = \frac{۱۵v_۱}{۱۴}\Delta t \xrightarrow[\Delta t=۰/۱۲\,s]{v_۱=۳۵۰\,m/s} x = \frac{۱۵\times۳۵۰}{۱۴}\times۰/۱۲ \Rightarrow x = ۴۵\,m$$

۱۸۸۲- گزینهٔ ۲ تندی صدای عبوری از هوای درون لوله را با $v_۱$ و تندی صدای عبوری از دیوارهٔ لوله را با $v_۲$ نشان می‌دهیم. برای هر کدام از لوله‌ها داریم:

$$x = vt \Rightarrow t = \frac{x}{v} \Rightarrow \Delta t = t_۱ - t_۲ = \frac{x}{v_۱} - \frac{x}{v_۲} = x(\frac{۱}{v_۱} - \frac{۱}{v_۲})$$

$v_۱$ و $v_۲$ برای هر دو لوله یکسان است، پس مقدار $(\frac{۱}{v_۱} - \frac{۱}{v_۲})$ نیز برای دو لوله برابر می‌باشد. می‌نویسیم:

$$\begin{cases}\Delta t_۱ = x_۱(\frac{۱}{v_۱} - \frac{۱}{v_۲})\\ \Delta t_۲ = x_۲(\frac{۱}{v_۱} - \frac{۱}{v_۲})\end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta t_۱}{\Delta t_۲} = \frac{x_۱}{x_۲} \xrightarrow{x_۱=L,\ x_۲=۲L} \frac{۱/۶}{\Delta t_۲} = \frac{L}{۲L} = \frac{۱}{۲} \Rightarrow \Delta t_۲ = ۱/۶\times۲ = ۳/۲\,s$$

همان‌طور که می‌بینید، اختلاف زمانی دو صدای دریافتی با طول لوله متناسب است. چون طول لولهٔ بلندتر، ۲ برابر طول لولهٔ کوتاه‌تر می‌باشد، اختلاف زمانی برای لولهٔ بلندتر هم، ۲ برابر اختلاف زمانی در لولهٔ کوتاه‌تر شده است.

اگر لوله‌ها هم‌جنس نباشد با توجه به متفاوت‌بودن $v_۲$ برای آن‌ها، اختلاف زمانی دو صدای دریافتی با طول لوله متناسب نیست.

۱۸۸۳- گزینهٔ ۲ هر تُن موسیقی دو ویژگی متمایز دارد: ارتفاع و بلندی. ارتفاع و بلندی به ترتیب بسامد و شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند (درستی (الف)). این دو ویژگی به ادراک شنوایی ما وابسته است و **نمی‌توان** آن‌ها را همچون کمیت فیزیکی با آشکارساز اندازه‌گیری کرد (نادرستی (ب)). بلندی علاوه بر شدت به بسامد صوت نیز بستگی دارد و دو صوت با شدت یکسان و بسامد متفاوت را با بلندی یکسانی نمی‌شنویم (نادرستی (پ)). در واقع بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گسترهٔ ۲ kHz تا ۵ kHz است (درستی (ت)).

تمرین **شدت دو صوت که بسامد یکی $f_۱ = ۴\,kHz$ و بسامد دیگری $f_۲ = ۱۰\,kHz$ است، برابر است. در شرایط یکسان کدام صوت بلندتر شنیده می‌شود؟** صوت $f_۱ = ۴\,kHz$

۱۸۸۴- گزینهٔ ۲ می‌دانیم گوش انسان تنها می‌تواند صداهایی که بسامد آن‌ها بین ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز است را بشنود، بنابراین می‌توان نوشت:

$$۲۰ \le f \le ۲۰۰۰۰ \xrightarrow{\lambda=\frac{v}{f}} ۲۰ \le \frac{v}{\lambda} \le ۲۰۰۰۰ \Rightarrow \frac{۱}{۲۰۰۰۰} \le \frac{\lambda}{v} \le \frac{۱}{۲۰} \xrightarrow{v=۳۴۰\,m/s} \frac{۳۴۰}{۲۰۰۰۰} \le \lambda \le \frac{۳۴۰}{۲۰}$$

$$\Rightarrow ۰/۰۱۷\,m \le \lambda \le ۱۷\,m \Rightarrow ۱۷\,mm \le \lambda \le ۱۷۰۰۰\,mm$$

۱۸۸۵- گزینهٔ ۲ اگر یک دیاپازون را با ضربه‌هایی متفاوت به ارتعاش واداریم، صداهای با بسامد مشخص و معین تولید می‌شود که **شدت**‌های متفاوتی دارند، به همین دلیل صداهایی با **ارتفاع** یکسان، اما با **بلندی** متفاوت را حس می‌کنیم.

۱۸۸۶- گزینهٔ ۴ با توجه به تناسب $I \propto \frac{A^۲f^۲}{r^۲}$، با ۲ برابرشدن دامنهٔ چشمهٔ صوت، شدت صوت **۴ برابر** می‌شود، اما بلندی صوت علاوه بر شدت صوت به ادراک شنوایی ما هم وابسته است. به عبارت دیگر با ۴ برابرشدن صوت، بلندی صوتی که احساس می‌کنیم با آن که افزایش می‌یابد، اما **۴ برابر نمی‌شود**.

⚠ گوش انسان دستگاهی لگاریتمی است، یعنی احساسی که گوش از بلندی صوت دارد به تراز شدت آن نزدیک است تا شدت آن. بلندی صوتی که گوش می‌شنود به حساسیت گوش شنونده هم بستگی دارد.

۱۸۸۷- گزینهٔ ۳ با استفاده از رابطهٔ شدت صوت داریم:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{At} \Rightarrow I = \frac{۱/۵\times۱۰^{-۱۱}}{۳\times۱۰^{-۴}\times۵} = ۱۰^{-۸}\ W/m^۲ \Rightarrow I = ۰/۰۱\,\mu W/m^۲$$

۱۸۸۸- گزینهٔ ۴ چون $I \propto \frac{۱}{r^۲}$ است می‌توان نوشت:

$$\frac{I_۲}{I_۱} = (\frac{r_۱}{r_۲})^۲ \Rightarrow \frac{\frac{۱۶}{۲۵}I}{I} = (\frac{d}{d+۵})^۲ \Rightarrow \frac{d}{d+۵} = \sqrt{\frac{۱۶}{۲۵}} = \frac{۴}{۵} \Rightarrow d = ۲۰\,m$$

۱۸۸۹- گزینهٔ ۱ باید آن‌قدر از چشمه دور شویم تا شدت صوت چشمه برابر شدت مرجع یا $I_۰ = ۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$ شود، بنابراین با توجه به رابطهٔ شدت یک صوت، می‌توان نوشت:

$$I = \frac{P}{A} \xrightarrow[A=۴\pi r^۲]{I=I_۰} I_۰ = \frac{P}{۴\pi r^۲} \Rightarrow ۱۰^{-۱۲} = \frac{۴\pi\times۱۰^{-۸}}{۴\pi r^۲} \Rightarrow r^۲ = ۱۰^۴ \Rightarrow r = ۱۰۰\,m$$

⚠ چون بخشی از انرژی صوتی توسط محیط انتشار جذب می‌شود، این فاصله در واقعیت کم‌تر از ۱۰۰ m خواهد بود.

۱۸۹۰- گزینهٔ ۲ تراز شدت صوت مرجع برابر صفر و تراز شدت آستانهٔ دردناکی برابر ۱۲۰ دسی‌بل یا ۱۲ بل است، زیرا:

صوت مرجع: $\beta = ۱۰\log\frac{I}{I_۰} \xrightarrow[\beta=\beta_۰]{I=I_۰} \beta_۰ = ۱۰\log(\frac{I_۰}{I_۰}) = ۱۰\log۱ \xrightarrow{\log۱=۰} \beta_۰ = ۰$

آستانهٔ دردناکی: $\beta = ۱۰\log\frac{I}{I_۰} \Rightarrow \beta = ۱۰\log(\frac{۱}{۱۰^{-۱۲}}) \Rightarrow \beta = ۱۰\log۱۰^{۱۲} \xrightarrow{\log۱۰^n=n} \beta = ۱۰\times۱۲ = ۱۲۰\,dB \Rightarrow \beta = ۱۲\,B$

۱۸۹۱- گزینهٔ ۴ به کمک رابطهٔ تراز شدت صوت می‌توان نوشت:

$$\beta = ۱۰\log\frac{I}{I_۰} \Rightarrow \beta = ۱۰\log\frac{۳/۲\times۱۰^{-۵}}{۱۰^{-۱۲}} \Rightarrow \beta = ۱۰\log(۳۲\times۱۰^۶) \Rightarrow \beta = ۱۰[\log۳۲ + \log۱۰^۶]$$

$$\Rightarrow \beta = ۱۰[\log۲^۵ + \log۱۰^۶] \Rightarrow \beta = ۱۰[۵\log۲ + ۶\log۱۰] \xrightarrow[\log۱۰=۱]{\log۲=۰/۳} \beta = ۱۰[۵\times۰/۳ + ۶\times۱] \Rightarrow \beta = ۷۵\,dB$$

۱۸۹۲- گزینهٔ ۳ **گام اول** شدت صوت را به دست می‌آوریم:

$$I = \frac{E}{At} = \frac{۱/۵\times۱۰^{-۱۱}}{۳\times۱۰^{-۴}\times۵} = ۱۰^{-۸}\ W/m^۲$$

گام دوم تراز شدت این صوت (برحسب بل) برابر است با:

$$\beta = \log(\frac{I}{I_۰}) = \log(\frac{۱۰^{-۸}}{۱۰^{-۱۲}}) = \log۱۰^۴ \Rightarrow \beta = ۴\,B$$

۱۸۹۳- گزینهٔ ۲ **گام اول** شدت صوت در فاصلهٔ ۲۵ متری از چشمه برابر است با:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{۴\pi r^۲} \Rightarrow I = \frac{۰/۱\pi}{۴\pi\times۲۵^۲} \Rightarrow I = ۴\times۱۰^{-۵}\ W/m^۲$$

گام دوم با معلوم‌بودن شدت صوت، تراز شدت صوت را حساب می‌کنیم:

$$\beta = ۱۰\log(\frac{I}{I_۰}) \Rightarrow \beta = ۱۰\log(\frac{۴\times۱۰^{-۵}}{۱۰^{-۱۲}}) \Rightarrow \beta = ۱۰\log(۴\times۱۰^۷)$$

$$\Rightarrow \beta = ۱۰(\log۴ + \log۱۰^۷) \Rightarrow \beta = ۱۰(\log۲^۲ + \log۱۰^۷) \Rightarrow \beta = ۱۰(۲\log۲ + ۷\log۱۰) \xrightarrow[\log۱۰=۱]{\log۲=۰/۳} \beta = ۱۰(۲\times۰/۳ + ۷\times۱) \Rightarrow \beta = ۷۶\,dB$$

تمرین **در هر حالت با معلوم‌بودن شدت صوت، تراز شدت صوت را حساب کنید. الف)** $I = ۲\times۱۰^{-۳}\ W/m^۲$ **:** **ب)** $\beta = ۹۳\,dB$ **:** $I = ۵\times۱۰^{-۷}\ W/m^۲$

پ) $I = ۴\times۱۰^{-۴}\ W/m^۲$ **:** $\beta = ۵۷\,dB$ **ت)** $I = ۲/۵\times۱۰^{-۹}\ W/m^۲$ **:** $\beta = ۸۶\,dB$

$\beta = ۳۴\,dB$

۱۸۹۴- گزینهٔ ۲ رابطهٔ تراز شدت صوت را می‌نویسیم:

$$\beta = ۱۰\log\frac{I}{I_۰} \Rightarrow ۴۳ = ۱۰\log\frac{I}{I_۰} \Rightarrow ۴/۳ = \log\frac{I}{I_۰} \Rightarrow \log\frac{I}{I_۰} = ۴+۰/۳ \Rightarrow \log\frac{I}{I_۰} = ۴\log۱۰ + \log۲$$

$$\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰} = \log۱۰^۴ + \log۲ \Rightarrow \log\frac{I}{I_۰} = \log(۱۰^۴\times۲) \Rightarrow \frac{I}{I_۰} = ۲\times۱۰^۴ \xrightarrow{I_۰=۱۰^{-۱۲}\,W/m^۲} I = ۲\times۱۰^۴\times۱۰^{-۱۲} \Rightarrow I = ۲\times۱۰^{-۸}\ W/m^۲$$

تمرین **در هر حالت با معلوم‌بودن تراز شدت، شدت صوت را حساب کنید. الف)** $\beta = ۶۳\,dB$ **:** **ب)** $I = ۲\times۱۰^{-۶}\ W/m^۲$ **:** $\beta = ۵۷\,dB$

پ) $I = ۵\times۱۰^{-۷}\ W/m^۲$ **:** $\beta = ۳۷\,dB$ $I = ۵\times۱۰^{-۹}\ W/m^۲$

۱۸۹۵- گزینهٔ ۱ با استفاده رابطهٔ تراز شدت صوت داریم:

$$\beta=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۶۶=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۶/۶=\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=۶+۲\times۰/۳\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=\log۱۰^۶+۲\log۲$$

$$\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=\log۱۰^۶+\log۴\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=\log(۴\times۱۰^۶)\Rightarrow \frac{I}{I_۰}=۴\times۱۰^۶\xrightarrow{I_۰=۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲} I=۴\times۱۰^۶\times۱۰^{-۱۲}\Rightarrow I=۴\times۱۰^{-۶}\ W/m^۲$$

تمرین در هر حالت با معلوم‌بودن تراز شدت، شدت صوت را حساب کنید. الف) $\beta=۶\ dB$: $I=۴\times۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$ ب) $\beta=۲۶\ dB$: $I=۴\times۱۰^{-۱۰}\ W/m^۲$ پ) $\beta=۷۶\ dB$: $I=۴\times۱۰^{-۵}\ W/m^۲$

۱۸۹۶- گزینهٔ ۲ با استفاده رابطهٔ تراز شدت صوت داریم:

$$\beta=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۲۴=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۲/۴=\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=۳-۲\times۰/۳\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=\log۱۰^۳-۲\log۲$$

$$\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=\log۱۰^۳-\log۴\Rightarrow \log\frac{I}{I_۰}=\log(\frac{۱۰^۳}{۴})\Rightarrow \frac{I}{I_۰}=۲۵۰\xrightarrow{I_۰=۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲} I=۲۵۰\times۱۰^{-۱۲}\Rightarrow I=۲/۵\times۱۰^{-۱۰}\ W/m^۲$$

تمرین در هر حالت با معلوم‌بودن تراز شدت، شدت صوت را حساب کنید. الف) $\beta=۴\ dB$: $I=۲/۵\times۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$ ب) $\beta=۵۴\ dB$: $I=۲/۵\times۱۰^{-۷}\ W/m^۲$ پ) $\beta=۱۰۴\ dB$: $I=۲/۵\times۱۰^{-۲}\ W/m^۲$

۱۸۹۷- گزینهٔ ۳ رابطهٔ تراز شدت صوت را می‌نویسیم:

$$\beta=۱۰\log(\frac{I}{I_۰})\Rightarrow ۱۵=۱۰\log(\frac{I}{I_۰})\Rightarrow ۱/۵=\log(\frac{I}{I_۰})$$

$$\Rightarrow \log(\frac{I}{I_۰})=۵\times۰/۳\Rightarrow \log(\frac{I}{I_۰})=۵\log۲\Rightarrow \log(\frac{I}{I_۰})=\log۲^۵\Rightarrow \frac{I}{I_۰}=۲^۵=۳۲$$

تمرین از تقریب $\log۲=۰/۳$ صرف نظر کنید و جواب دقیق‌تری برای مسئله پیدا کنید. $I=۱۰\sqrt{۱۰}I_۰$

۱۸۹۸- گزینهٔ ۲ گوش انسان سالم به طور میانگین می‌تواند صداهایی با شدت $I_۰$ (تراز صفر) و بالاتر را بشنود؛ اما شخص مورد نظر صداهایی با شدت کم‌تر از $I'_۰$ با تراز $\beta=۲۸\ dB$ را نمی‌شنود. $I'_۰$ را حساب می‌کنیم:

$$\beta=۱۰\log\frac{I'_۰}{I_۰}\Rightarrow ۲۸=۱۰\log\frac{I'_۰}{I_۰}\Rightarrow \log\frac{I'_۰}{I_۰}=\frac{۲۸}{۱۰}=۲/۸=۴\times۰/۷=۴\times(۱-۰/۳)$$

$$\xrightarrow{\frac{\log۱۰=۱}{\log۲=۰/۳}} \log\frac{I'_۰}{I_۰}=۴\times(\log۱۰-\log۲)\xrightarrow{\log a-\log b=\log\frac{a}{b}} \log\frac{I'_۰}{I_۰}=۴\log\frac{۱۰}{۲}=۴\log۵$$

$$\xrightarrow{n\log a=\log a^n} \log\frac{I'_۰}{I_۰}=\log۵^۴\Rightarrow \frac{I'_۰}{I_۰}=۵^۴\xrightarrow{I_۰=۱۰^{-۶}\ \mu W/m^۲=۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲} I'_۰=۵^۴\times۱۰^{-۱۲}=۶۲۵\times۱۰^{-۱۲}=۶/۲۵\times۱۰^{-۱۰}\ W/m^۲$$

این شخص صداهایی با شدت بین $I_۰$ و $I'_۰$ را نمی‌شنود یعنی ۲؛ چون در SI داریم: $(I_۰=۱۰^{-۱۲})<۵\times۱۰^{-۱۰}<(I=۶/۲۵\times۱۰^{-۱۰})$

شدت داده‌شده در ۱ کم‌تر از $I_۰$ است و شخص سالم هم آن را نمی‌شنود. شدت داده‌شده در دو گزینهٔ آخر بیشتر از $I'_۰$ بوده و توسط این شخص شنیده می‌شوند.

تیزباش شدت‌هایی که گوش انسان سالم نمی‌تواند بشنود را کنار می‌گذاریم (رد ۱) حالا بین گزینه‌های باقی‌مانده کم‌ترین شدت یعنی ۲ جواب تست است. (چون اگر این شخص نتواند شدت‌های داده‌شده در ۳ یا ۴ را بشنود، حتماً شدت‌های کم‌تر مانند ۲ را هم نمی‌تواند بشنود و تست بیشتر از یک پاسخ دارد.)

۱۸۹۹- گزینهٔ ۳ **گام اول** ابتدا با معلوم‌بودن تراز شدت صوت، شدت صوتی که به پردهٔ گوش شنونده می‌رسد را حساب می‌کنیم:

$$\beta=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۵۰=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۵=\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow \frac{I}{I_۰}=۱۰^۵\xrightarrow{I_۰=۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲} I=۱۰^{-۷}\ W/m^۲$$

گام دوم اکنون با استفاده از تعریف شدت صوت، انرژی گذرا از پردهٔ گوش شنونده را در مدت زمان خواسته‌شده به دست می‌آوریم:

$$I=\frac{E}{At}\Rightarrow E=IAt\Rightarrow E=۱۰^{-۷}\times۶۰\times۱۰^{-۶}\times۵۰\Rightarrow E=۳\times۱۰^{-۴}\times۱۰^{-۶}\ J\Rightarrow E=۳\times۱۰^{-۴}\ \mu J$$

۱۹۰۰- گزینهٔ ۱ **گام اول** شدت صوت در فاصلهٔ ۵ متری را به دست می‌آوریم:

$$\beta=۱۰\log\frac{I}{I_۰}\Rightarrow ۶۰=۱۰\log\frac{I}{۱۰^{-۱۲}}\Rightarrow \frac{I}{۱۰^{-۱۲}}=۱۰^۶\Rightarrow I=۱۰^{-۶}\ W/m^۲$$

گام دوم حالا توان منبع صوت را به دست می‌آوریم:

$$I=\frac{P}{A}=\frac{P}{۴\pi r^۲}\Rightarrow ۱۰^{-۶}=\frac{P}{۴\pi(۵)^۲}\Rightarrow P=\pi\times۱۰^{-۴}\ W\xrightarrow{۱\ W=۱۰^۳\ mW} P=۰/۱\pi\ mW$$

۱۹۰۱- گزینهٔ ۲ **گام اول** شدت صوت در این فاصله را به دست می‌آوریم:

$$\beta = ۱۰\log\frac{I}{I_۰} \Rightarrow ۸۰ = ۱۰\log\frac{I}{۱۰^{-۱۲}} \Rightarrow ۱۰^۸ = \frac{I}{۱۰^{-۱۲}} \Rightarrow I = ۱۰^{-۴}\ W/m^۲$$

گام دوم حالا فاصلهٔ این نقطه از چشمه را به دست می‌آوریم:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{۴\pi r^۲} \Rightarrow ۱۰^{-۴} = \frac{۴۸}{۴\times۳\times r^۲} \Rightarrow r^۲ = ۴\times۱۰^۴ \xrightarrow{\text{جذر می‌گیریم}} r = ۲۰۰\,m$$

۱۹۰۲- گزینهٔ ۳ **روش اول:** با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت می‌توان نوشت:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \xrightarrow{\frac{I_۲}{I_۱}=۱۰۰۰} \beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log ۱۰^۳ = ۳۰\log ۱۰ \Rightarrow \beta_۲ - \beta_۱ = ۳۰\ dB$$

روش دوم:

نکته اگر شدت صوتی ۱۰ برابر شود، تراز شدت آن صوت ۱۰ dB افزایش می‌یابد.

شدت صوت ۱۰×۱۰×۱۰ برابر شده است، بنابراین تراز شدت صوت ۳۰ dB = ۱۰+۱۰+۱۰ افزایش می‌یابد.

۱۹۰۳- گزینهٔ ۳ به کمک رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت داریم:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \xrightarrow{I_۲ = ۲\sqrt{۱۰}I_۱} \beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log ۲\sqrt{۱۰} \Rightarrow \Delta\beta = ۱۰(\log ۲ + \log\sqrt{۱۰})$$

$$\Rightarrow \Delta\beta = ۱۰(\log ۲ + \log ۱۰^{\frac{۱}{۲}}) \Rightarrow \Delta\beta = ۱۰(\log ۲ + \frac{۱}{۲}\log ۱۰) \xrightarrow[\log ۱۰ = ۱]{\log ۲ = ۰/۳} \Delta\beta = ۱۰(۰/۳ + \frac{۱}{۲}\times ۱) \Rightarrow \Delta\beta = +۸\ dB$$

تیزباش اگر شدت صوت ۱۰ برابر می‌شد، تراز شدت ۱۰ dB افزایش می‌یافت. حالا که شدت صوت $۲\sqrt{۱۰}$ (کم‌تر از ۱۰) برابر شده است، تراز شدت صوت کم‌تر از ۱۰ dB افزایش می‌یابد و ۳ درست است.

تمرین **برای آن‌که تراز شدت صوتی ۲۵ دسی‌بل افزایش یابد، شدت صوت باید چند برابر شود؟** $۱۰۰\sqrt{۱۰}$

۱۹۰۴- گزینهٔ ۴ **روش اول:** از رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت استفاده می‌کنیم:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \xrightarrow[I_۱ = ۱۰۰\,\mu W/cm^۲]{I_۲ = ۵۰۰\,\mu W/cm^۲} \beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log ۵ \Rightarrow \beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{۱۰}{۲}) \Rightarrow \beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰[\log ۱۰ - \log ۲]$$

$$\Rightarrow \beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰(۱ - ۰/۳) \Rightarrow \beta_۲ - \beta_۱ = ۷\ dB$$

روش دوم:

نکته به طور کلی با n برابر شدن شدت صوت، تراز شدت صوت $(۱۰\log n)\ dB$ تغییر می‌کند.

در این تست شدت صوت ۵ برابر شده، بنابراین تراز شدت صوت $(۱۰\log ۵)\ dB$ تغییر می‌کند.

$$۱۰\log ۵ = ۱۰\log\frac{۱۰}{۲} = ۱۰(\log ۱۰ - \log ۲) = ۱۰(۱ - ۰/۳) = +۷\ dB$$

تمرین **تراز شدت دو صوت را حساب کنید.** $\beta_۱ = ۱۲۰\ dB$ و $\beta_۲ = ۱۲۷\ dB$

۱۹۰۵- گزینهٔ ۱ به کمک رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت داریم:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \Rightarrow ۳ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \Rightarrow \log(\frac{I_۲}{I_۱}) = ۰/۳ \xrightarrow{\log ۲ = ۰/۳} \frac{I_۲}{I_۱} = ۲$$

۱۹۰۶- گزینهٔ ۱ با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت داریم:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \xrightarrow{\beta_۲ = \beta_۱ + ۱۲\,(dB)} ۱۲ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow ۱/۲ = \log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow ۴\times۰/۳ = \log\frac{I_۲}{I_۱} \xrightarrow{\log ۲ = ۰/۳} ۴\log ۲ = \log\frac{I_۲}{I_۱}$$

$$\Rightarrow \frac{I_۲}{I_۱} = ۲^۴ = ۱۶$$

۱۹۰۷- گزینهٔ ۳ با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت می‌توان نوشت:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \xrightarrow[\beta_۲ = ۱/۳\beta_۱]{I_۲ = ۸I_۱} ۱/۳\beta_۱ - \beta_۱ = ۱۰\log ۸ \Rightarrow ۰/۳\beta_۱ = ۱۰\times\log ۲^۳ \Rightarrow ۰/۳\beta_۱ = ۳۰\log ۲ \xrightarrow{\log ۲ = ۰/۳} \beta_۱ = ۳۰\ dB$$

۱۹۰۸- گزینهٔ ۱ از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت استفاده می‌کنیم:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \xrightarrow[I_۲ = ۱۶I_۱]{\beta_۲ = ۵\beta_۱} ۵\beta_۱ - \beta_۱ = ۱۰\log ۱۶$$

$$\Rightarrow ۴\beta_۱ = ۱۰\log ۲^۴ \Rightarrow ۴\beta_۱ = ۱۰\times ۴\log ۲ \Rightarrow \beta_۱ = ۱۰\log ۲ \xrightarrow{\beta = ۱۰\log\frac{I}{I_۰}} \frac{I_۱}{I_۰} = ۲ \Rightarrow I_۱ = ۲\times۱۰^{-۱۲}\ W/m^۲$$

۱۹۰۹- گزینهٔ ۱

نکته رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت برحسب فاصله از منبع به صورت زیر است:

$$\beta_2-\beta_1=10\log\frac{I_2}{I_1}\xrightarrow{\frac{I_2}{I_1}=(\frac{r_1}{r_2})^2}\beta_2-\beta_1=10\log(\frac{r_1}{r_2})^2\Rightarrow\beta_2-\beta_1=20\log\frac{r_1}{r_2}$$

با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت می‌توان نوشت:

$$\begin{cases}r_1=20\,m\Rightarrow\beta_1=80\,dB\\ r_2=?\Rightarrow\beta_2=120\,dB\end{cases}\Rightarrow\beta_2-\beta_1=10\log(\frac{r_1}{r_2})^2\Rightarrow120-80=10\log(\frac{20}{r_2})^2\Rightarrow4=\log(\frac{20}{r_2})^2\Rightarrow\log10^4=\log(\frac{20}{r_2})^2$$

$$\Rightarrow10^4=(\frac{20}{r_2})^2\xrightarrow{\text{جذر می‌گیریم}}10^2=\frac{20}{r_2}\Rightarrow r_2=0/2\,m=20\,cm$$

۱۹۱۰- گزینهٔ ۴ **روش اول: گام اول** نسبت شدت صوت در این دو فاصله را به دست می‌آوریم:

$$I=\frac{P}{4\pi r^2}\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=(\frac{r_1}{r_2})^2\xrightarrow{r_2=0/1r_1}\frac{I_2}{I_1}=(\frac{r_1}{0/1r_1})^2=100$$

گام دوم اختلاف تراز شدت دو صوت را محاسبه می‌کنیم:

$$\beta_2-\beta_1=10\log\frac{I_2}{I_1}\xrightarrow{I_2=100I_1}\beta_2-\beta_1=10\log100=10\log10^2=20\log10\xrightarrow{\log10=1}\beta_2-\beta_1=20dB$$

تراز شدت صوت ۲۰dB افزایش می‌یابد.

روش دوم:

نکته به طور کلی با n برابر شدن فاصله از چشمهٔ صوت، تراز شدت صوت $(-20\log n)dB$ تغییر می‌کند.

در این تست فاصله از منبع صوت ۰/۱ برابر شده، بنابراین تراز شدت صوت $(-20\log0/1)\,dB$ تغییر می‌کند:

$$-20\log0/1=-20(\log1-\log10)=-20(0-1)=+20dB$$

تمرین در هر حالت با n برابر شدن فاصله از چشمهٔ صوت، تراز شدت صوت چگونه تغییر می‌کند؟ $(n=\frac{r_2}{r_1})$

الف) $n=100:\ \Delta\beta=-40\,dB$. ب) $n=1000:\ \Delta\beta=-60\,dB$ پ) $n=0/01:\ \Delta\beta=+40\,dB$ ت) $n=10^{-4}:\ \Delta\beta=+80\,dB$ ث) $n=4:\ \Delta\beta=-12\,dB$ ج) $n=8:\ \Delta\beta=-18\,dB$ چ) $n=\frac{1}{5}:\ \Delta\beta=+14\,dB$

۱۹۱۱- گزینهٔ ۲ با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت داریم:

$$\beta_1-\beta_2=10\log(\frac{d_2}{d_1})^2\xrightarrow{\beta_1=\beta_2+18\,(dB)}18=20\log\frac{d_2}{d_1}\Rightarrow0/9=\log\frac{d_2}{d_1}\Rightarrow3\times0/3=\log\frac{d_2}{d_1}$$

$$\xrightarrow{\log2=0/3}3\log2=\log\frac{d_2}{d_1}\Rightarrow\log2^3=\log\frac{d_2}{d_1}\Rightarrow\frac{d_2}{d_1}=8$$

۱۹۱۲- گزینهٔ ۳ با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت، داریم:

$$\begin{cases}\beta_1=54\,dB\\ \beta_2=40\,dB\end{cases}\Rightarrow\beta_1-\beta_2=10\log(\frac{r_2}{r_1})^2\Rightarrow54-40=10\log(\frac{r_2}{r_1})^2\Rightarrow1/4=\log(\frac{r_2}{r_1})^2\Rightarrow2-(2\times0/3)=\log(\frac{r_2}{r_1})^2$$

$$\Rightarrow\log10^2-2\log2=\log(\frac{r_2}{r_1})^2\Rightarrow\log\frac{10^2}{2^2}=\log(\frac{r_2}{r_1})^2\Rightarrow(\frac{10}{2})^2=(\frac{r_2}{r_1})^2\Rightarrow\frac{r_2}{r_1}=5\Rightarrow r_2=5r_1$$

از طرفی $r_2-r_1=36\,m$، بنابراین:

$$r_2-r_1=36\Rightarrow5r_1-r_1=36\Rightarrow4r_1=36\Rightarrow r_1=9\,m$$

۱۹۱۳- گزینهٔ ۱ **گام اول** تراز شدت صوت در فاصلهٔ 4m را به دست می‌آوریم:

$$\beta_1=10\log\frac{I_1}{I_0}=10\log\frac{10^{-6}}{10^{-12}}=10\log10^6=10(6\log10)\xrightarrow{\log10=1}\beta_1=60\,dB$$

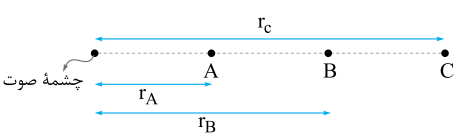
گام دوم به کمک رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت داریم:

$$\beta_2-\beta_1=20\log\frac{r_1}{r_2}\Rightarrow\beta_2-\beta_1=20\log\frac{4}{20}=20\log\frac{1}{5}=20(\log1-\log5)=20(\log1-\log\frac{10}{2})$$

$$=20(\log1-\log10+\log2)\xrightarrow[\log2=0/3]{\log1=0,\log10=1}\beta_2-\beta_1=20(0-1+0/3)=-14\,dB\xrightarrow{\beta_1=60\,dB}\beta_2=46\,dB$$

۱۹۱۴- گزینهٔ ۳ **گام اول** براساس فرض تست و شکل مقابل می‌نویسیم:

$$\begin{cases}\beta_A-\beta_B=20\\ \beta_B-\beta_C=10\end{cases}\xrightarrow{\text{(مجموع دو رابطه)}}\beta_A-\beta_C=30$$



گام دوم با توجه به رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت $(\beta_2-\beta_1=10\log\frac{I_2}{I_1})$ و تناسب شدت صوت با وارون مربع فاصله از چشمه $(I\propto\frac{1}{r^2})$ داریم:

$$\begin{cases}\beta_A-\beta_C=10\log\frac{I_A}{I_C}\\ I\propto\frac{1}{r^2}\Rightarrow\frac{I_A}{I_C}=(\frac{r_C}{r_A})^2\end{cases}\Rightarrow\beta_A-\beta_C=10\log(\frac{r_C}{r_A})^2=20\log\frac{r_C}{r_A}\Rightarrow 30=20\log\frac{r_C}{r_A}\Rightarrow\log\frac{r_C}{r_A}=1/5$$

باید ۱/۵ را به شکل یک عدد لگاریتمی بنویسیم. از لگاریتم داده‌شده $(\log 3=0/5)$ استفاده کنید!

$$\log\frac{r_C}{r_A}=3\times 0/5=3\log 3=\log 3^3=\log 27\Rightarrow\frac{r_C}{r_A}=27\Rightarrow\frac{r_C}{10}=27\Rightarrow r_C=270\ m$$

$$AC=r_C-r_A=270-10=260\ m$$

۱۹۱۵- گزینهٔ ۳ باید آن‌قدر از چشمه دور شویم تا شدت صوت به شدت مرجع کاهش یابد، در این حالت تراز شدت صوت برابر صفر می‌شود، $(\beta_2=0)$

و از رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت می‌توان نوشت:

$$\beta_2-\beta_1=20\log(\frac{r_1}{r_2})\xrightarrow[\beta_1=60\ dB]{\beta_2=0}0-60=20\log(\frac{r_1}{r_2})\Rightarrow-3=\log(\frac{r_1}{r_2})$$

$$\Rightarrow\log 10^{-3}=\log(\frac{r_1}{r_2})\Rightarrow\frac{r_1}{r_2}=10^{-3}\Rightarrow r_2=1000r_1\xrightarrow{r_1=20\ m}r_2=20000\ m=20\ km$$

۱۹۱۶- گزینهٔ ۲ **گام اول** می‌دانیم آهنگ متوسط انتقال انرژی (توان متوسط) یک موج با مربع بسامد و مربع دامنه متناسب است، پس می‌توان نوشت:

$$P_{av}\propto A^2f^2\xrightarrow{I=\frac{P_{av}}{A}}I\propto A^2f^2\xrightarrow{f_2=f_1}\frac{I_2}{I_1}=(\frac{A_2}{A_1})^2\xrightarrow{A_2=A_1-\frac{20}{100}A_1}\frac{I_2}{I_1}=(0/8)^2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=64\times10^{-2}$$

$$\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=2^6\times10^{-2}$$

گام دوم به کمک رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت داریم:

$$\beta_2-\beta_1=10\log(\frac{I_2}{I_1})\Rightarrow\beta_2-\beta_1=10\log(2^6\times10^{-2})\Rightarrow\beta_2-\beta_1=10[\log 2^6+\log 10^{-2}]\Rightarrow\beta_2-\beta_1=10[6\log 2-2\log 10]$$

$$\xrightarrow[\log 10=1]{\log 2=0/3}\beta_2-\beta_1=10[6\times0/3-2\times1]\Rightarrow\beta_2-\beta_1=-2\ dB$$

⚠ A در رابطهٔ I مساحت است و با دامنه اشتباه گرفته نشود.

۱۹۱۷- گزینهٔ ۱ **گام اول** شدت صوت با مربع دامنه متناسب است. داریم:

$$I\propto\frac{A^2f^2}{r^2}\xrightarrow[r_1=r_2]{f_1=f_2}\frac{I_2}{I_1}=(\frac{A_2}{A_1})^2\xrightarrow{A_2=5A_1}\frac{I_2}{I_1}=(\frac{5A_1}{A_1})^2=5^2$$

گام دوم به کمک رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت می‌توان نوشت:

$$\Delta\beta=10\log\frac{I_2}{I_1}=10\log 5^2\xrightarrow{\log a^n=n\log a}\Delta\beta=10\times(2\log 5)=20\log 5$$

$$=20\log\frac{10}{2}=20\times(\log 10-\log 2)\xrightarrow[\log 2=0/3]{\log 10=1}\Delta\beta=20\times(1-0/3)=20\times0/7=14\ dB$$

$$\Delta\beta=\beta_2-\beta_1=95-\beta_1=14\Rightarrow\beta_1=95-14=81\ dB$$

۱۹۱۸- گزینهٔ ۴ **گام اول** نسبت شدت صوت در دو حالت را به دست می‌آوریم:

$$I\propto\frac{A^2f^2}{r^2}\xrightarrow[r_2=r_1]{f_2=f_1}(\frac{I_2}{I_1})=(\frac{A_2}{A_1})^2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=4^2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=2^4$$

گام دوم رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت را می‌نویسیم:

$$\beta_2-\beta_1=10\log(\frac{I_2}{I_1})\xrightarrow{\beta_2=1/3\beta_1}1/3\beta_1-\beta_1=10\log(2^4)\Rightarrow0/3\beta_1=40\log 2\xrightarrow{\log 2=0/3}0/3\beta_1=40\times0/3$$

$$\Rightarrow\beta_1=40\ dB\ ,\ \beta_2=1/3\beta_1=1/3\times40\Rightarrow\beta_2=52\ dB$$

۱۹۱۹- گزینهٔ ۴ **گام اول** شدت صوت در دو حالت را به دست می‌آوریم:

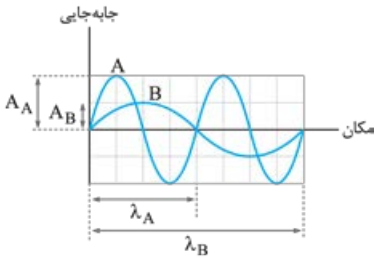
$$I\propto\frac{A^2f^2}{r^2}\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=(\frac{A_2}{A_1})^2\times(\frac{f_2}{f_1})^2\times(\frac{r_1}{r_2})^2\Rightarrow\frac{I_2}{I_1}=2^2\times2^2\times(\frac{1}{5})^2=(\frac{4}{5})^2=(\frac{8}{10})^2$$

گام دوم رابطهٔ اختلاف تراز شدت صوت را می‌نویسیم:

$$\beta_2-\beta_1=10\log(\frac{I_2}{I_1})\Rightarrow\Delta\beta=10\log\frac{8^2}{10^2}\Rightarrow\Delta\beta=10(\log 8^2-\log 10^2)=10(\log 2^6-\log 10^2)$$

$$\Rightarrow\Delta\beta=10(6\log 2-2\log 10)\xrightarrow[\log 10=1]{\log 2=0/3}\Delta\beta=-2\ dB$$

۱۹۲۰- گزینهٔ ۲ **گام اول** با توجه به نمودار جابه‌جایی - مکان مقابل داریم: $A_A = ۲A_B$ و $\lambda_B = ۲\lambda_A$.



دو موج در یک محیط منتشر می‌شوند، پس شرایط فیزیکی محیط انتشار برای دو موج یکسان است و می‌توان نوشت:

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{v_A = v_B} \frac{f_A}{f_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} = \frac{۲\lambda_A}{\lambda_A} = ۲$$

گام دوم نسبت شدت دو صوت را به دست می‌آوریم:

$$I \propto \frac{A^۲ f^۲}{r^۲} \xrightarrow{r_۲ = r_۱} \frac{I_A}{I_B} = (\frac{A_A}{A_B})^۲ \times (\frac{f_A}{f_B})^۲ \Rightarrow \frac{I_A}{I_B} = ۲^۲ \times ۲^۲ \Rightarrow \frac{I_A}{I_B} = ۲^۴$$

گام سوم حالا از رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت داریم:

$$\beta_A - \beta_B = ۱۰\log(\frac{I_A}{I_B}) \Rightarrow \beta_A - \beta_B = ۱۰\log ۲^۴ \Rightarrow \beta_A - \beta_B = ۴۰\log ۲ \Rightarrow \beta_A - \beta_B = ۴۰ \times ۰/۳ \Rightarrow \beta_A - \beta_B = ۱۲\ dB$$

۱۹۲۱- گزینهٔ ۳ در حالت اول شدت صوت حاصل از یک چشمه برابر $I_۱$ و تراز شدت آن برابر $\beta_۱ = ۵۴\ dB$ است. در حالت دوم شدت صوت حاصل از n چشمه برابر $I_۲ = nI_۱$ و تراز شدت آن برابر $\beta_۲ = ۶۰\ dB$ است. با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت می‌توان نوشت:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log(\frac{I_۲}{I_۱}) \Rightarrow ۶۰ - ۵۴ = ۱۰\log(\frac{nI_۱}{I_۱}) \Rightarrow ۶۰ - ۵۴ = ۱۰\log n \Rightarrow \log n = ۰/۶ \Rightarrow \log n = ۲ \times ۰/۳$$

$$\Rightarrow \log n = ۲\log ۲ \Rightarrow \log n = \log ۲^۲ \Rightarrow n = ۲^۲ = ۴$$

بنابراین در حالت دوم باید از $n = ۴$ چشمه استفاده کنیم.

۱۹۲۲- گزینهٔ ۲ **گام اول** اگر انرژی موج صوتی توسط محیط جذب نشود، شدت صوت در فاصلهٔ ۲۰ متری از چشمه برابر است با:

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow I = \frac{P}{۴\pi r^۲} \Rightarrow I = \frac{۵۰۰ \times ۱۰^{-۳}}{۴\pi \times ۲۰^۲} = \frac{۲۵}{۲۴} \times ۱۰^{-۴}\ W/m^۲$$

گام دوم در عمل مقداری از انرژی موج صوتی جذب محیط می‌شود و شدت صوتی که به گوش شنونده می‌رسد، برابر است با:

$$\beta = ۱۰\log\frac{I'}{I_۰} \Rightarrow ۸۰ = ۱۰\log\frac{I'}{I_۰} \Rightarrow ۱۰^۸ = \frac{I'}{I_۰} \Rightarrow I' = ۱۰^۸ \times ۱۰^{-۱۲} = ۱۰^{-۴}\ W/m^۲$$

گام سوم بنابراین درصدی از انرژی موج (یا توان موج) که توسط محیط جذب شده است، برابر است با:

$$\frac{E - E'}{E} \times ٪۱۰۰ = \frac{I - I'}{I} \times ٪۱۰۰ = \frac{\frac{۲۵}{۲۴} \times ۱۰^{-۴} - ۱۰^{-۴}}{\frac{۲۵}{۲۴} \times ۱۰^{-۴}} \times ٪۱۰۰ = \frac{۱}{۲۵} \times ٪۱۰۰ = ٪۴$$

۱۹۲۳- گزینهٔ ۲ **گام اول** در فاصلهٔ $r_۱ = ۱۰\ m$ از چشمه، ۹۰٪ از توان چشمه باقی مانده است و شدت صوت برابر $I_۱$ و تراز شدت صوت برابر $\beta_۱ = ۱۰۰\ dB$ است. هم‌چنین در فاصلهٔ $r_۲ = ۱۰۰\ m$ از چشمه، تنها ۹٪ از توان چشمه باقی مانده است و شدت صوت برابر $I_۲$ و تراز شدت صوت برابر $\beta_۲$ است. ابتدا با استفاده از تعریف شدت صوت، نسبت $\frac{I_۲}{I_۱}$ را به دست می‌آوریم:

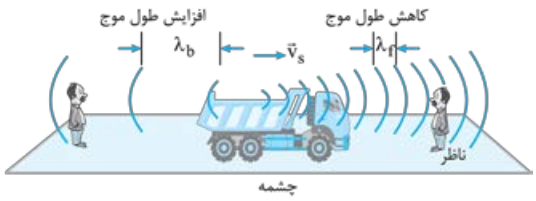
$$I = \frac{p}{۴\pi r^۲} \Rightarrow \frac{I_۲}{I_۱} = \frac{P_۲}{P_۱} \times (\frac{r_۱}{r_۲})^۲ \Rightarrow \frac{I_۲}{I_۱} = \frac{۰/۰۹P}{۰/۹P} \times (\frac{۱۰}{۱۰۰})^۲ = \frac{۱}{۱۰} \times \frac{۱}{۱۰۰} = \frac{۱}{۱۰۰۰}$$

گام دوم حالا با استفاده از رابطهٔ اختلاف تراز شدت دو صوت می‌توان نوشت:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = ۱۰\log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow \beta_۲ - ۱۰۰ = ۱۰\log(\frac{۱}{۱۰۰۰}) \Rightarrow \beta_۲ = ۷۰\ dB$$

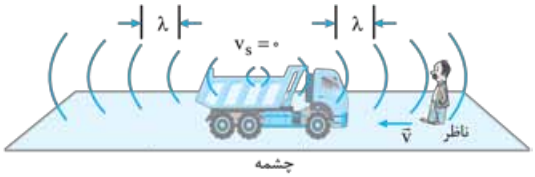
تمرین **اگر اتلاف انرژی صوت در هوا ناچیز بود، تراز شدت صوت در فاصلهٔ $r_۲ = ۱۰۰\ m$ چند دسی‌بل می‌شد؟** $\beta_۲ = ۸۰\ dB$

۱۹۲۴- گزینهٔ ۳ وقتی چشمه حرکت می‌کند، مطابق شکل فاصلهٔ جبهه‌های موج در جلوی چشمهٔ کم‌تر از پشت آن خواهد بود، بنابراین ناظر ساکنی که چشمه به آن نزدیک می‌شود، طول موج کوتاه‌تری را نسبت به وضعیتی که چشمه ساکن بود، اندازه می‌گیرد $(\lambda' = \lambda_f < \lambda)$.



کاهش طول موج به معنای افزایش بسامد برای این ناظر است $(f' > f)$.

۱۹۲۵- گزینهٔ ۳ چشمهٔ صوت ساکن است؛ بنابراین مطابق شکل تجمع جبهه‌های موج در دو سوی چشمه یکسان است، در نتیجه طول موج دریافتی ناظر با طول موج چشمه برابر است $(\lambda = \lambda')$.



از طرف دیگر چون ناظر به طرف چشمه حرکت می‌کند، در مقایسه با ناظر ساکن، در مدت زمان یکسان با جبهه‌های موج بیشتری مواجه می‌شود که این منجر به افزایش بسامد صوتی می‌شود که ناظر می‌شنود $(f' > f)$.

۱۹۲۶- گزینهٔ ۲ **گام اول** می‌دانیم اگر چشمه و ناظر به هم نزدیک شوند، بسامد دریافتی ناظر بیش از بسامد واقعی چشمه است؛ بنابراین برای حالت اول داریم $f < f_1$، هم‌چنین می‌دانیم هرگاه چشمه و ناظر از هم دور شوند، بسامد دریافتی ناظر کم‌تر از بسامد واقعی چشمه است، بنابراین برای حالت دوم داریم: $f > f_2$ و در مجموع می‌توان نتیجه گرفت: $\mathbf{f_2 < f < f_1}$.

گام دوم چشمهٔ صوت در حال حرکت است و در حالت اول که ناظر در جلوی چشمهٔ متحرک و به هم نزدیک می‌شوند طول موج دریافتی ناظر کم‌تر از طول موج چشمه است؛ داریم: $\lambda_1 < \lambda$ و در حالت دوم که ناظر در عقب چشمهٔ متحرک قرار دارد و از هم دور می‌شوند طول موج دریافتی ناظر بیشتر از طول موج چشمه است؛ داریم $\lambda < \lambda_2$؛ یعنی در مجموع می‌توان نتیجه گرفت: $\lambda_1 < \lambda < \lambda_2$.

۱۹۲۷- گزینهٔ ۲ تا وقتی چشمه ساکن باشد، طول موجی که ناظر دریافت می‌کند، با طول موج چشمه برابر است؛ بنابراین چشمه باید متحرک باشد و (۱) یا (۲) می‌توانند درست باشند. از طرف دیگر می‌دانیم هرگاه چشمه و ناظر به هم نزدیک شوند، بسامد دریافتی ناظر بیشتر از بسامد واقعی چشمه است و اگر چشمه و ناظر از هم دور شوند، بسامد دریافتی ناظر کم‌تر از بسامد واقعی چشمه خواهد بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت چشمه در حال دورشدن از ناظر ساکن بوده است و (۲) درست است.

۱۹۲۸- گزینهٔ ۲ چشمه (آژیر آمبولانس) متحرک و دو ناظر ساکن هستند. در چنین شرایطی طول موج دریافتی برای ناظر عقب چشمه یعنی ناظر (۱) افزایش و برای ناظر جلوی چشمه یعنی ناظر (۲) کاهش می‌یابد. اگر طول موج ارسالی توسط آژیر را λ_s بگیریم، داریم: $\lambda_2 < \lambda_s < \lambda_1$

اما نکته این‌جاست که هر چه اندازهٔ سرعت چشمه (v_s) بزرگ‌تر شود، این کاهش و افزایش طول موج در جلو و عقب چشمه بیشتر خواهد شد. یعنی:

$$v_s' = 2v_s \xrightarrow{v_s' > v_s} \lambda_2' < \lambda_2 , \lambda_1 < \lambda_1'$$

پس در مجموع داریم: $\lambda_2' < \lambda_2 < \lambda_s < \lambda_1 < \lambda_1' \xrightarrow{\text{بدون نوشتن } \lambda_s} \lambda_2' < \lambda_2 < \lambda_1 < \lambda_1'$

۱۹۲۹- گزینهٔ ۲ **گام اول** چون چشمهٔ صوتی (آژیر آمبولانس) ساکن است، طول موج دریافتی توسط ناظر، مستقل از این‌که جلو یا عقب چشمه است و در چه جهتی حرکت می‌کند، **تغییر نمی‌کند**. پس اگر طول موج ارسالی به وسیلهٔ آژیر آمبولانس را λ_s در نظر بگیریم، داریم: $\lambda_1' = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_2' = \lambda_s$

در این حالت افزایش یا کاهش سرعت ناظر تأثیری روی طول موج دریافتی‌اش ندارد و تا وقتی چشمه ساکن است این طول موج برابر طول موج ارسالی چشمه خواهد بود.

گام دوم شخص (۱) ناظر متحرکی است که به سمت چشمهٔ ساکن می‌رود و می‌دانید که در این حالت بسامد دریافتی‌اش افزایش پیدا می‌کند ولی شخص (۲) ناظر متحرکی است که از چشمهٔ ساکن دور می‌شود. پس بسامد دریافتی‌اش کاهش پیدا می‌کند. اگر بسامد ارسالی توسط چشمه f_s باشد، داریم: $f_2 < f_s < f_1$

نکته آن است که هر چه اندازهٔ سرعت حرکت ناظر در مسیر بزرگ‌تر شود، این افزایش یا کاهش بسامد دریافتی هم بیشتر خواهد شد. یعنی:

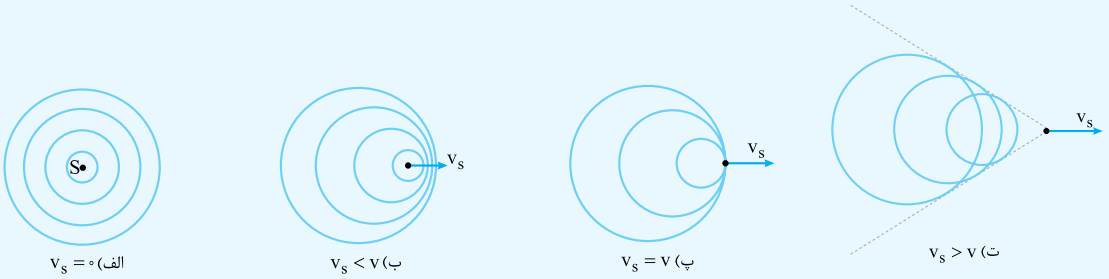
$$\begin{cases} (v_1' = 2v_1) > v_1 \Rightarrow f_1 < f_1' \\ (v_2' = 2v_2) > v_2 \Rightarrow f_2' < f_2 \end{cases} \Rightarrow f_2' < f_2 < f_s < f_1 < f_1' \xrightarrow{\text{بدون نوشتن } f_s} f_2' < f_2 < f_1 < f_1'$$

۱۹۳۰- گزینهٔ ۲ **گام اول** سرعت حرکت سه اتومبیل یکسان است؛ بنابراین سرعت اتومبیل‌ها نسبت به هم برابر صفر می‌باشد و در نتیجه بسامد صوتی که ناظرهای A و C دریافت می‌کنند با بسامد بوق چشمهٔ B برابر است. $(f_A = f_C = f_B)$

گام دوم از طرف دیگر می‌دانیم طول موج دریافتی ناظر تنها به حرکت چشمه بستگی دارد و طول موج در عقب چشمه (λ_C) بلندتر از طول موج در جلوی چشمه (λ_A) است، بنابراین داریم: $\lambda_A < \lambda_C$ پس (۲) درست است.

۱۹۳۱- گزینهٔ ۱ جواب تست را با خواندن نکتهٔ آموزشی زیر تشخیص دهید.

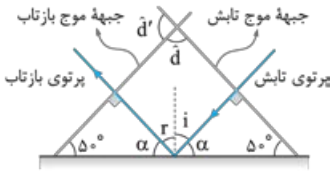
نکته اگر چشمهٔ موج ساکن باشد $(v_s = 0)$، جبهه‌های موج به صورت دایره‌های هم‌مرکز خواهند بود (شکل الف) و طول موج در همه‌جا یکسان است. اما اگر چشمه با سرعتی کم‌تر از سرعت انتشار موج حرکت کند، $(v_s < v)$ جبهه‌های موج به صورت دایره‌هایی هستند که مرکزشان در حال حرکت است. جهت حرکت مرکز این دایره‌ها همان جهت حرکت چشمه است. در این حالت طول موج در عقب چشمه بلندتر از طول موج در جلوی چشمه است (شکل ب). در حالتی که سرعت حرکت چشمه و سرعت انتشار موج برابر باشد $(v_s = v)$، مطابق شکل زیر جبهه‌های موج دایره‌ای در یک نقطه بر هم مماس می‌شوند (شکل پ). در نهایت اگر چشمه با سرعتی بیشتر از سرعت انتشار موج حرکت کند، $(v_s > v)$ جبهه‌های موج دایره‌ای روی یک مخروط با هم تداخل می‌کنند و یک موج ضربه‌ای تولید می‌کنند. (شکل ت)



۱۹۳۲- گزینهٔ ۱ مطابق شکل زیر تصویر موج عرضی را ابتدا نسبت به راستای افقی و سپس نسبت به راستای قائم رسم می‌کنیم.

۱۹۳۳- گزینهٔ ۴ *بدون شرح!*

۱۹۳۴- گزینهٔ ۳ **گام اول** به شکل روبه‌رو توجه کنید. زاویهٔ تابش یا زاویهٔ بازتاب برابر زاویه‌ای است که جبهه‌های موج با مانع می‌سازند.

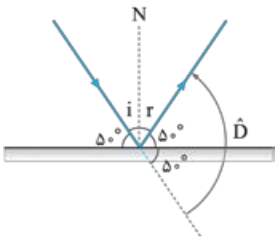


$$\begin{cases} i+\alpha=90^\circ \\ 50^\circ+\alpha=90^\circ \end{cases} \Rightarrow i=50^\circ \xrightarrow{r=i} r=50^\circ$$

گام دوم بین جبهه‌های موج تابیده و بازتابیده دوتا زاویه می‌بینید. یکی $\hat{d}$ و دیگری $\hat{d}'$ که مکمل هم هستند. هر کدام از زاویه‌ها که حاده بود، زاویهٔ بین جبهه‌های موج تابیده و بازتابیده خواهد بود.

$$\hat{d}+50^\circ+50^\circ=180^\circ \Rightarrow \hat{d}=80^\circ$$

۱۹۳۵- گزینهٔ ۲ **گام اول** زاویهٔ تابش (یا بازتاب) برابر زاویه‌ای است که پرتوهای تابش (یا بازتاب) با خط عمود بر سطح (N) می‌سازند. این زاویه متمم زاویه‌ای است که پرتوها با سطح مانع می‌سازند.

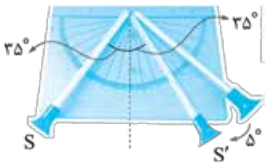


$$i+50^\circ=90^\circ \Rightarrow i=40^\circ$$

گام دوم زاویهٔ انحراف را در شکل مقابل با $\hat{D}$ نشان داده‌ایم.

$$\hat{D}=2\times50^\circ=100^\circ$$

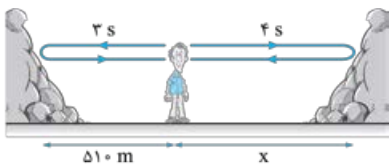
۱۹۳۶- گزینهٔ ۲ این آزمایش بیانگر برقراری قانون بازتاب عمومی برای امواج صوتی است. برای این‌که شنونده‌ای که در دهانهٔ S' قرار دارد، صوت را با بیشترین بلندی ممکن بشنود، باید لولهٔ S' در امتداد پرتوی صوت بازتاب‌شده قرار بگیرد. با توجه به این‌که زاویهٔ تابش پرتوی صوت برابر $90^\circ-55^\circ=35^\circ$ است، لولهٔ S' را باید 5° **در جهت (۲)** بچرخانیم تا در امتداد پرتوی بازتاب قرار بگیرد.



۱۹۳۷- گزینهٔ ۱ اگر عمق دریا در این محل برابر با L باشد، مسافتی که موج فراصوتی در رفت و برگشت طی می‌کند، برابر 2L است و با توجه به یکنواخت‌بودن انتشار موج فراصوتی در آب دریا داریم:

$$x=vt \xrightarrow{x=2L} 2L=vt \Rightarrow 2L=1530\times0/4 \Rightarrow L=306\ m$$

۱۹۳۸- گزینهٔ ۲ **گام اول** مطابق شکل زیر اولین پژواک (از صخرهٔ نزدیک‌تر) پس از 3 s و دومین پژواک (از صخرهٔ دورتر) پس از $3+1=4\ s$ به گوش شخص می‌رسد؛ بنابراین فاصلهٔ صخرهٔ دورتر از شخص به صورت زیر به دست می‌آید:



$$\begin{cases} v_{صوت}=\dfrac{2\times510}{3} \\ v_{صوت}=\dfrac{2x}{4} \end{cases} \Rightarrow \frac{2\times510}{3}=\frac{2x}{4} \Rightarrow x=680\ m$$

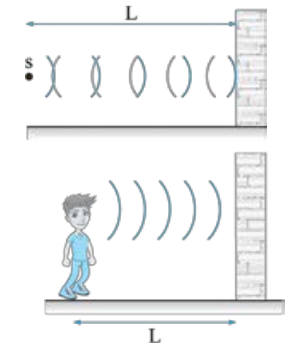
گام دوم فاصلهٔ بین دو صخره برابر است با:

$$\text{فاصلهٔ بین دو صخره}=510+x=510+680=1190\ m$$

۱۹۳۹- گزینهٔ ۲ **گام اول** تندی انتشار صوت برابر است با:

$$\lambda=\frac{v}{f} \Rightarrow 8/75\times10^{-3}=\frac{v}{40\times10^3} \Rightarrow v=350\ m/s$$

گام دوم مطابق شکل اگر فاصلهٔ چشمه از دیوار برابر L باشد، در مدت 0/4 s صوت مسافت 2L را در موقع رفت و برگشت طی می‌کند و می‌توان نوشت:



$$x=vt \xrightarrow{x=2L} 2L=vt \Rightarrow 2L=350\times0/4 \Rightarrow L=70\ m$$

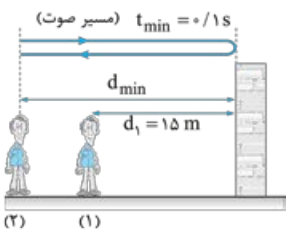
۱۹۴۰- گزینهٔ ۴ اگر فاصلهٔ شخصی تا دیوار L باشد، مسافتی که صدا طی می‌کند تا به دیوار خورده و پس از بازتاب به گوش شخص برسد 2L است. با توجه به تندی ثابت صوت داریم:

$$2L=vt$$

اگر صدای شخص مسافت فوق را در مدت $t\geq0/1\ s$ طی کند، شخص می‌تواند بین صدای اصلی و پژواک صدا فرق قائل شود:

$$t\geq0/1\ s \Rightarrow \frac{2L}{v}\geq0/1 \Rightarrow \frac{2L_{min}}{v}=0/1 \Rightarrow \frac{2\times17}{v}=0/1 \Rightarrow v=340\ m/s$$

۱۹۴۱- گزینهٔ ۳ **گام اول** برای این‌که شخص بتواند پژواک صدای خود از دیوار را از صدای اصلی‌اش تمیز دهد باید زمان رفت و برگشت صوت حداقل 0/1 s باشد، بنابراین حداقل فاصلهٔ شخص از دیوار به صورت زیر به دست می‌آید:



$$2L=vt \xrightarrow[t_{min}=0/1\ s]{L=d_{min}} 2d_{min}=336\times0/1 \Rightarrow d_{min}=16/8\ m$$

پس شخص باید حداقل $16/8-15=1/8\ m$ از دیوار دور شود.

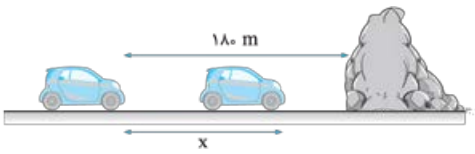
گام دوم جابه‌جایی با n گام شخص به دست می‌آید، بنابراین:

$$n=\frac{1/8}{\text{طول گام شخص}} \xrightarrow{\text{طول گام شخص}=40\ cm=0/4\ m} n=\frac{1/8}{0/4}=\frac{18}{4}=\frac{9}{2}=4/5$$

با توجه به گزینه‌ها دنبال عدد صحیح می‌گردیم. 4 گام برای رسیدن به d_{min} کافی نیست $(4/5<4)$. پس حداقل شخص باید **5 گام** از دیوار دورتر شود $(5>4/5)$ تا بتواند پژواک صدایش از دیوار را از صدای اصلی‌اش تمیز دهد.

تمرین **فاصلهٔ شخص از دیوار در حالت دوم چند متر خواهد بود؟** $d_2=17\ m$

۱۹۴۲- گزینهٔ ۳ **گام اول** فرض کنید رانندهٔ اتومبیل پس از آن‌که اتومبیل به اندازهٔ x متر به صخره نزدیک شد، صدای پژواک بوق را بشنود. پس از این‌که صوت مسافت ۱۸۰ متر را تا صخره رفته و به اندازهٔ $(۱۸۰-x)$ برگشته، صدای پژواک به گوش راننده می‌رسد. با توجه به یکنواخت‌بودن حرکت اتومبیل و انتشار صوت در هوا داریم: (تندی صوت: v و تندی اتومبیل: v')

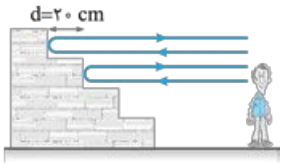


$$\begin{cases} \text{صوت}: ۱۸۰+(۱۸۰-x)=v\times t \\ \text{اتومبیل}: x=v'\times t \end{cases} \Rightarrow \frac{۳۶۰-x}{x}=\frac{v}{v'}\times\frac{t}{t} \xrightarrow{v'=۱۰۸\frac{km}{h}=۳۰m/s} \frac{۳۶۰-x}{x}=\frac{۳۳۰}{۳۰}\times ۱ \Rightarrow x=۳۰\,m$$

گام دوم مقدار x را در معادلهٔ حرکت اتومبیل (یا صوت) قرار داده تا زمان به دست آید:

$$x=v't \Rightarrow ۳۰=۳۰t \Rightarrow t=۱\,s$$

۱۹۴۳- گزینهٔ ۳ **گام اول** ابتدا مدت‌زمان بین دو پژواک متوالی را به دست می‌آوریم. مطابق شکل زیر مسیری که صوت در هر پژواک می‌پیماید، به اندازهٔ ۲ برابر عرض پله بیشتر از پژواک قبلی است. فاصلهٔ زمانی بین تپ‌های صوتی بازتابیده از پله‌ها (Δt) به صورت مقابل به دست می‌آید:



$$۲d=v_{صوت}\Delta t \Rightarrow ۲\times ۰/۲=۳۴۰\times\Delta t \Rightarrow \Delta t=\frac{۴}{۳۴۰۰}\,s$$

یعنی در مدت Δt، یک پژواک به گوش شخص می‌رسد.

گام دوم حالا با استفاده از یک تناسب ساده تعداد پژواک‌هایی که در مدت ۱ s به گوش شخص می‌رسد را به دست می‌آوریم:

تعداد پژواک	مدت‌زمان(s)
۱	$\frac{۴}{۳۴۰۰}$
n	۱

$$\Rightarrow n=\frac{۱\times ۱}{\frac{۴}{۳۴۰۰}}=\frac{۳۴۰۰}{۴}=۸۵۰$$

اولین پژواک، حاصل بازتاب صوت از پایین‌ترین پله است. با توجه به تندی صوت $(۳۴۰\,m/s)$ اگر فاصلهٔ شخص از اولین پله برابر یا بیشتر از ۱۷ m باشد صدای اولین پژواک را تشخیص می‌دهد و اگر کمتر از ۱۷ m باشد، این صدا را تشخیص نمی‌دهد.

تمرین **الف) اگر فاصلهٔ شخص از پایین‌ترین پله برابر ۱۳/۶ m باشد، اولین پژواک چند ثانیه پس از دست‌زدن شخص، به گوش او می‌رسد؟** ۰/۰۸ s

ب) اولین پژواکی که شخص تشخیص می‌دهد، چند ثانیه پس از دست‌زدن است و این پژواک مربوط به چندمین بازتاب است؟ ۰/۱ s، ۱۷

۱۹۴۴- گزینهٔ ۴ **گام اول** وال عنبر یکی از جانورانی است که با استفاده از پژواک امواج فراصوتی، مکان‌یابی می‌کند. مسافتی که صوت طی می‌کند، دو برابر فاصلهٔ بین وال و مانع است، بنابراین داریم:

$$x=vt \Rightarrow t=\frac{x}{v} \xrightarrow{x=۲L} t=\frac{۲L}{v} \Rightarrow t=\frac{۲\times ۱۵۰}{۱۵۰۰} \Rightarrow t=۰/۲\,s$$

گام دوم وال اجسامی با ابعادی در حدود طول موج ارسالی یا بزرگ‌تر را می‌تواند تشخیص دهد؛ بنابراین، داریم:

$$\lambda=\frac{v}{f} \Rightarrow \lambda=\frac{۱۵۰۰}{۱۰۰\times ۱۰^{۳}} \Rightarrow \lambda=۱/۵\times ۱۰^{-۲}\,m \Rightarrow \lambda=۱/۵\,cm$$

۱۹۴۵- گزینهٔ ۱ در **رادار دوپلری، اجاق خورشیدی** و **آنتن بشقابی** از بازتاب امواج **الکترومغناطیسی** و در دستگاه **سونار** در کشتی‌ها و **سونوگرافی** از بازتاب **امواج صوتی (و فراصوتی)** استفاده می‌شود.

۱۹۴۶- گزینهٔ ۴ در **میکروفون سهموی** از **بازتاب امواج صوتی برای ثبت صداهای ضعیف** و در **دستگاه لیتوتریپسی** از **امواج فراصوت برای شکستن سنگ‌های کلیه** استفاده می‌شود.

برای تعیین تندی خودروها از مکان‌یابی پژواکی **امواج الکترومغناطیسی** به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود.

۱۹۴۷- گزینهٔ ۳ تک‌تک گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم:

۱) درست؛ با توجه به قانون بازتاب عمومی، **در هر بازتاب** زاویه‌های تابش و بازتاب برابرند و در یک صفحه قرار دارند، خواه بازتاب آینه‌ای باشد، خواه پخشنده.

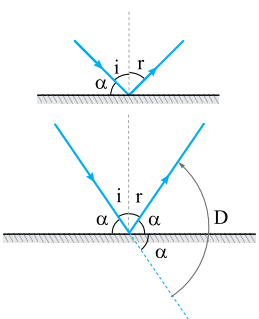
۲) درست؛ به علت بازتاب پخشنده، پرتوهای بازتاب در جهت‌های مختلف پراکنده می‌شوند و ناظرهای مختلف (از زوایای مختلف) می‌توانند نقطهٔ رنگی را ببینند.

۳) نادرست، در بازتاب نامنظم، پرتوهای بازتاب در جهات مختلف پراکنده می‌شوند؛ بنابراین زوایای بازتاب با هم برابر **نیستند**.

۴) درست، اگر نور به صورت منظم از سطح اجسام بازتاب می‌شد، اجسام را فقط در یک زاویه می‌توانستیم ببینیم. در واقع دیدن اشیا را مدیون بازتاب نامنظم نور از سطح آن‌ها هستیم.

۱۹۴۸- گزینهٔ ۳ طول موج نور مرئی در حدود ۰/۵ μm است، بنابراین با توجه به این‌که ابعاد ناهمواری‌های سطح کاغذ $(۰/۰۲\,mm=۲۰\,\mu m)$ بسیار بزرگ‌تر از طول موج نور مرئی است. بازتاب از سطح کاغذ، نامنظم (پخشنده) خواهد بود. از طرفی ابعاد ناهمواری‌های سطح آینه $(۰/۰۲\,\mu m)$ است که بسیار کوچک‌تر از طول موج نور مرئی است بنابراین بازتاب از سطح آینه منظم خواهد بود.

۱۹۴۹- گزینهٔ ۱ اگر شکل ساده‌ای رسم کنیم، خواهیم داشت:



$$i+r=\frac{۱}{۴}\alpha \xrightarrow{i=r} \alpha=۸i$$

$$\alpha+i=۹۰^\circ \xrightarrow{\alpha=۸i} ۸i+i=۹۰^\circ \Rightarrow i=۱۰^\circ$$

۱۹۵۰- گزینهٔ ۴ براساس فرض تست $D=۶r$ است.

$$D=۲\alpha \Rightarrow ۶r=۲\alpha \Rightarrow \alpha=۳r$$

$$r+\alpha=۹۰^\circ \Rightarrow r+۳r=۹۰^\circ \Rightarrow ۴r=۹۰^\circ \Rightarrow r=۲۲/۵^\circ$$

$$i=r \Rightarrow i=۲۲/۵^\circ$$

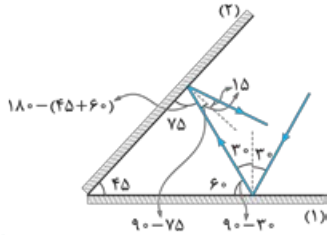
۱۹۵۱- گزینهٔ ۱ چون زاویهٔ بین پرتوهای تابش و بازتاب بزرگ‌تر شده است، بنابراین با دوران آینه به اندازهٔ ۳۰°، زاویهٔ تابش از i به $i+۳۰^\circ$ و زاویهٔ بازتاب از r به $r+۳۰^\circ$ می‌رسد و داریم:

$$(i+۳۰^\circ)+(r+۳۰^\circ)=۴(i+r) \xrightarrow{i=r} ۲i+۶۰^\circ=۸i \Rightarrow ۶i=۶۰^\circ \Rightarrow i=۱۰^\circ$$

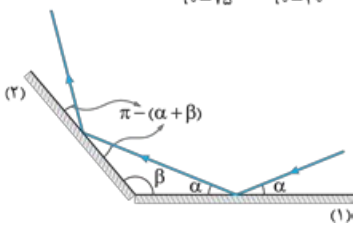
تمرین با دوران ۳۰ درجه‌ای آینه، پرتوی بازتاب نسبت به راستای اولیه چند درجه دوران می‌کند؟ ۶۰°

۱۹۵۲- گزینهٔ ۱ با توجه به اطلاعات تست، مطابق شکل مقابل ادامهٔ مسیر پرتو را رسم می‌کنیم و زاویهٔ بازتاب از آینهٔ دوم را به دست می‌آوریم:

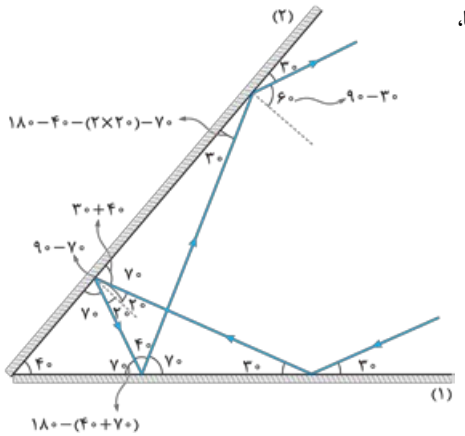
$$\hat{r}_۲=۱۵^\circ$$



۱۹۵۳- گزینهٔ ۴ ادامهٔ مسیر پرتو را مطابق شکل مقابل رسم کرده و زوایا را مرحله به مرحله تعیین می‌کنیم.



۱۹۵۴- گزینهٔ ۱ مطابق شکل مقابل، با رسم ادامهٔ مسیر پرتو و تعیین مرحله به مرحلهٔ زوایا، زاویهٔ بازتاب پرتو از آینهٔ (۲) در دومین بازتاب را به دست می‌آوریم.



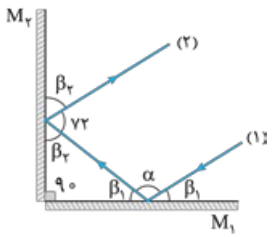
۱۹۵۵- گزینهٔ ۳ **گام اول** زوایا را مرحله به مرحله به دست می‌آوریم:

$$۲\beta_۲+۷۲^\circ=۱۸۰^\circ \Rightarrow \beta_۲=۵۴^\circ$$

$$\beta_۱+\beta_۲+۹۰^\circ=۱۸۰^\circ \Rightarrow \beta_۱+۱۴۴^\circ=۱۸۰^\circ \Rightarrow \beta_۱=۳۶^\circ$$

$$۲\beta_۱+\alpha=۱۸۰^\circ \Rightarrow ۲\times۳۶^\circ+\alpha=۱۸۰^\circ \Rightarrow \alpha=۱۰۸^\circ$$

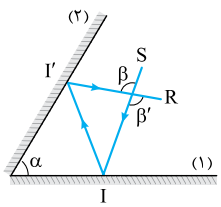
گام دوم هنگامی که دو آینه بر هم عمود هستند، مستقل از زاویهٔ تابش پرتوی (۱)، پرتوهای (۱) و (۲) موازی می‌مانند؛ زیرا زاویهٔ بین آن‌ها همواره ۱۸۰° خواهد بود. $\hat{D}=۱۸۰^\circ$



۱۹۵۶- گزینهٔ ۲ می‌دانیم اگر پرتوی نور به دو آینهٔ تخت متقاطع که با هم زاویهٔ حاده می‌سازند، تابیده و پس از **یک بار** بازتاب از هر کدام از آینه‌ها، از مجموعه خارج شود، به اندازهٔ دو برابر زاویهٔ بین دو آینه، از مسیر خود منحرف می‌شود، بنابراین در شکل مقابل داریم: $\beta'=۲\alpha$

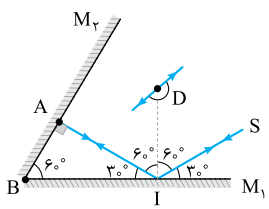
از طرفی زاویه‌های β و β' متقابل به رأس هستند، پس می‌توان نوشت:

$$\beta=\beta' \xrightarrow{\beta'=۲\alpha} \beta=۲\alpha$$



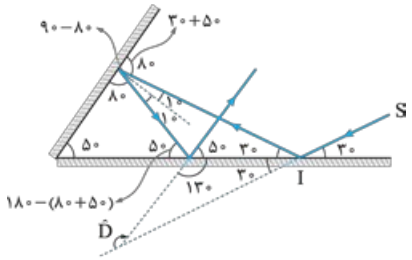
۱۹۵۷- گزینهٔ ۳ اگر مطابق شکل مقابل ادامهٔ مسیر پرتوی SI پس از بازتاب از آینه‌ها را رسم کنیم، متوجه می‌شوید که پرتو پس از بازتاب از آینهٔ (۲) بر روی خودش منطبق می‌شود. بنابراین اگر پرتوهای ورودی و خروجی را از یک نقطه رسم کنیم، زاویهٔ انحراف مطابق شکل برابر $D=۱۸۰^\circ$ می‌شود.

⚠ اگر زاویهٔ بین دو آینهٔ متقاطع کم‌تر از ۹۰° باشد، نمی‌توان همواره از رابطهٔ $\hat{D}=۲\theta$ استفاده کرد.



نکته اگر زاویهٔ بین دو آینهٔ متقاطع، حاده (کم‌تر از ۹۰°) باشد و پرتوی تابش به یکی از آینه‌ها بتابد، راجع به تعداد بازتاب از هر یک از آینه‌ها و زاویهٔ انحراف پرتوی خروجی از مجموعه نسبت به پرتوی تابش اولیه نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد و باید با استفاده از زاویهٔ تابش اولیه و محاسبهٔ مرحله به مرحلهٔ زوایا این موضوع را بررسی کرد.

۱۹۵۸- گزینهٔ ۳ مطابق شکل مقابل ادامهٔ مسیر پرتو را رسم کرده و زوایا را مرحله به مرحله تعیین می‌کنیم؛ بنابراین:



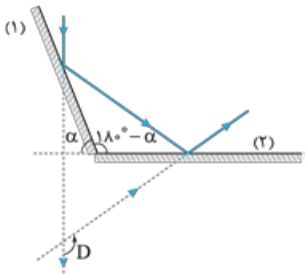
$$\hat{D} = ۳۰^\circ + ۱۳۰^\circ = ۱۶۰^\circ$$

۱۹۵۹- گزینهٔ ۳ زاویهٔ ۱۰۰° که در شکل نشان داده زاویهٔ انحراف پرتو است. با توجه به این‌که زاویهٔ بین دو آینه بزرگ‌تر از ۹۰° است $(\alpha > ۹۰^\circ)$ داریم:

$$\hat{D} = ۱۰۰^\circ \xrightarrow{\hat{D}=۳۶۰-۲\alpha} ۱۰۰ = ۳۶۰ - ۲\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{۲۶۰}{۲} = ۱۳۰^\circ$$

نکته هرگاه دو آینهٔ متقاطع با هم زاویهٔ منفرجه $(\theta > ۹۰^\circ)$ بسازند و پرتوی تابش به یکی از آینه‌ها تابیده و در ادامه از آینهٔ دیگر بازتاب شود، مستقل از زاویهٔ تابش پرتو، الزاماً از هر آینه یک بار بازتاب رخ می‌دهد و زاویهٔ انحراف پرتو همواره از رابطهٔ $D = ۳۶۰ - ۲\theta$ به دست می‌آید.

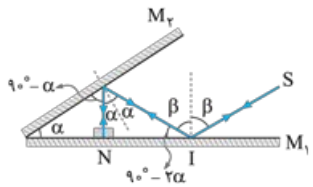
۱۹۶۰- گزینهٔ ۲ زاویهٔ بین دو آینه، منفرجه و برابر $\gamma = ۱۸۰^\circ - \alpha$ است، پس زاویهٔ بین پرتو ورودی و پرتو خروجی برابر $D = ۳۶۰^\circ - ۲\gamma$ است و داریم:



$$D = ۳۶۰^\circ - ۲(۱۸۰^\circ - \alpha) \Rightarrow D = ۲\alpha$$

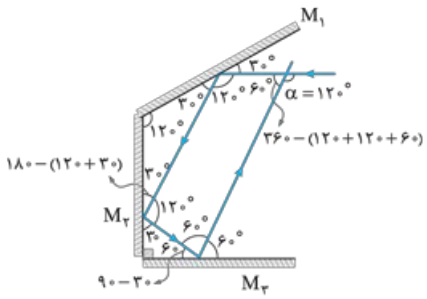
۱۹۶۱- گزینهٔ ۴ زاویهٔ γ که در شکل نشان داده شده است، زاویهٔ انحراف پرتوی SI است. اگر زاویهٔ بین دو آینه بیشتر از ۹۰° باشد $(\alpha > ۹۰^\circ)$، زاویهٔ انحراف از رابطهٔ $\gamma = ۳۶۰ - ۲\alpha$ به دست می‌آید. بنابراین زاویهٔ انحراف پرتو (γ) به **زاویهٔ تابش بستگی ندارد** و با تغییر آن، **ثابت** می‌ماند.

۱۹۶۲- گزینهٔ ۳ برای این‌که پرتو روی خودش بازتاب شود، لازم است پرتو در نقطهٔ N بر سطح آینهٔ $M_۱$ عمود باشد. حالا زاویه‌ها را برحسب α و β روی شکل مشخص می‌کنیم. در نقطهٔ I، مجموع دو زاویهٔ β و $(۹۰^\circ - ۲\alpha)$ یک زاویهٔ قائمه ساخته‌اند، پس داریم:

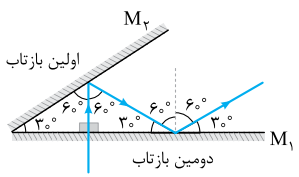


$$\beta + (۹۰^\circ - ۲\alpha) = ۹۰^\circ \Rightarrow \beta = ۲\alpha$$

۱۹۶۳- گزینهٔ ۲ مطابق شکل، پرتو با زاویهٔ ۳۰° نسبت به آینهٔ $M_۱$ به آن تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. در ادامه با توجه به این‌که مجموع زوایای داخلی هر مثلثی برابر ۱۸۰° است، پرتو با زاویهٔ ۳۰° نسبت به آینهٔ $M_۲$ تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. مجموع زوایای داخلی مثلث قائم‌الزاویه هم برابر ۱۸۰° است، پس پرتو با زاویهٔ ۶۰° نسبت به آینهٔ $M_۳$ به آن تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. حالا با توجه به این‌که مجموع زوایای داخلی هر چهارضلعی برابر ۳۶۰° است، زاویهٔ مکمل α برابر ۶۰° می‌شود و از این‌جا معلوم می‌شود که داریم: $\alpha = ۱۲۰^\circ$



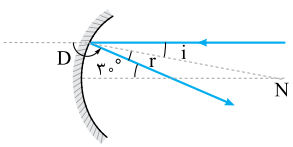
۱۹۶۴- گزینهٔ ۲ مطابق شکل، امتداد پرتو پس از دومین بازتاب، با امتداد آینهٔ $M_۲$ موازی می‌شود، بنابراین دیگر بازتابی رخ نخواهد داد.



۱۹۶۵- گزینهٔ ۳ برای این‌که صدا با بیشترین شدت ممکن شنیده شود، شنونده باید در کانون سطح B قرار بگیرد. پس فاصلهٔ شنونده از چشمهٔ صوت برابر است با:

$$x = AB - f_A - f_B = ۱۰۰ - ۲۰ - ۲۰ = ۶۰\ cm$$

۱۹۶۶- گزینهٔ ۳ **گام اول** بر اساس قضیهٔ خطوط موازی و مورب زاویهٔ بین پرتو تابش و بازتابش ۳۰° است، پس:



$$i + r = ۳۰^\circ \xrightarrow{i=r} ۲i = ۳۰^\circ \Rightarrow i = ۱۵^\circ$$

گام دوم شکل روبه‌رو نشان می‌دهد نور، ۱۵۰° از مسیر اولیه‌اش منحرف شده است.

$$D = ۱۸۰^\circ - (i + r) = ۱۸۰^\circ - ۳۰^\circ = ۱۵۰^\circ$$