با سپاس از سه موجود مقدس؛

آنان‌که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم؛

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم؛

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند؛

پدرانمان، مادرانمان و استادانمان.

مقدمهٔ ناشر

با نگاه فلسفی زمان مهم‌ترین کمیت فیزیکیه! اگه زمان متوقف بشه، همه‌چیز از حرکت باز می‌ایسته و دیگه هیچ چیز تغییر نمی‌کنه. با توقف زمان از کمیت‌های اصلی فقط طول، جرم و مقدار ماده می‌مونه و همه‌چیز از حرکت باز می‌ایسته، حتی اتم‌ها متوقف می‌شن و دمای دنیا به صفر مطلق می‌رسه. گذشت زمان خیلی مهمه. قدر گذشت زمانتون رو بدونید و ازش حسابی بهره ببرید. فقط مواظب قاتلین زمان باشید. توی این دوره و زمونه قاتلین زمان همه‌جا هستن: موبایل، TV، chat، اینستا، تلگرام، واتس‌اپ، PS5 و ... . اینایی که اسم بردم چندشخصیتی‌اند. شخصیت خوب هم دارن، مثلاً پرکنندهٔ اوقات فراغت یا اطلاع‌رسان سریع ولی یکی از شخصیتاشون قاتل حرفه‌ای زمانه ... . گول ظاهر جذابشون رو نخورین.

خب! بدون وقت‌کُشی باید بگم که دم مؤلف‌های توانای این کتاب گرم؛ از استاد توانا که سنگ‌بنای این کتاب رو گذاشت تا استاد مصلایی و امین امینی و دکتر اقبال! بی برو برگرد کتابی ویژه و پر از خلاقیت برای شما نوشتن. کتابی که چشم‌بسته می‌شه بهش اعتماد کرد.

از خانم ملیکا مهری که پروژهٔ این کتاب رو با دلسوزی و زحمت جلو برد ممنونم. هم‌چنین مرسی از همکارای واحد تولید که در کل قارهٔ آسیا همتا ندارن.

زمانتان خوش‌عنان و ایام به کامتان

مقدمهٔ مؤلفان

از سال ۱۳۹۶ و در پی سیاست کاهش حجم و مطالب کتاب‌های درسی توسط وزارت‌خانهٔ آموزش و پرورش، کتاب‌های درسی، به ویژه فیزیک دچار دگرگونی تدریجی شدند. تعدادی از فصل‌ها (مثل نور هندسی) کاملاً حذف شدند. تعدادی از فصل‌ها (مثل دینامیک) را که برای خودشان یَلی بودند، آن‌قدر قیچی کردند که شبیه شیر بی یال و اشکم و دم شدند! اولین کنکور براساس کتاب‌های درسی جدید در سال ۱۳۹۸ به عمل آمد؛ آزمون‌هایی بسیار ساده در درس فیزیک! اما درصد میانگین فیزیک داوطلبان نسبت به سال‌های گذشته تغییر محسوسی نکرد! سال ۱۳۹۹ آزمون به مراتب قوی‌تری را شاهد بودیم که حاصل آن کاهش معنادار درصد میانگین فیزیک بود. (رشتهٔ ریاضی: ۵/۹ درصد و رشتهٔ تجربی: ۴/۵ درصد)

پیام، روشن بود! اول این‌که افت کتاب درسی باعث افت دانش‌آموزان هم شده! دوم این‌که قرار نیست همیشه از کتاب نسبتاً سادهٔ فیزیک، آزمون‌های ساده‌ای گرفته شود! این موارد باید در آموزش درس فیزیک لحاظ شوند.

کتابی که در دست دارید به اصطلاح فرنگی‌ها یک کتاب optimum (بهینه) است (!) که براساس رویکرد جدید کتاب درسی و کنکور نوشته شده است. در این کتاب جایی برای تست‌های بسیار بسیار ساده یا بسیار بسیار سخت که معمولاً در چارچوب کنکور نمی‌گنجند، وجود ندارد؛ به طوری که به‌جز تعداد اندکی، تمام تست‌های گزینش‌شده و تألیفی ممکن است با تغییرات کمی در کنکورهای بعدی عرض اندام کنند (آن تعداد اندک هم جنبهٔ آموزشی دارند). حجم مناسب کتاب به شما این امکان را می‌دهد که کتاب را به طور کامل خوانده و تازه یک بار هم به طور کامل مرور کنید و زمان ارزیابی تست‌های دیگر را هم (مثل بررسی تست‌های کنکورهای آزمایشی) داشته باشید.

پس از بررسی و حل چندبارهٔ تمام سؤال‌های کنکور، آن‌هایی را که خیلی خوب و کامل بودند، با وسواس زیاد انتخاب کردیم و در کتاب، با آدرس مربعی (■) آوردیم؛ برای مثال آدرس *(ریاضی ■ ۹۲ خارج)* یعنی این سؤال عیناً از کنکور سراسری خارج از کشور رشتهٔ ریاضی در سال ۹۲ اقتباس شده است. برخی از سؤال‌های قدیمی کنکور، حاوی مطالب بسیار ارزشمندی هستند، اما بیان سؤال و گزینه‌ها با کنکورهای امروزی تطابق ندارد. برای رفع این مشکل، با تغییراتی در این سؤال‌ها آن‌ها را به‌روز کرده‌ایم به نحوی که دارای بار آموزشی بیشتری باشند. این دسته از سؤال‌ها را با آدرس مثلثی (▲) آورده‌ایم؛ برای مثال آدرس *(تجربی ▲ ۷۰)* یعنی این سؤال به‌روزرسانی‌شدهٔ یکی از سؤال‌های کنکور سراسری رشتهٔ تجربی در سال ۷۰ بوده است. اضافه کنیم که در ویرایش جدید این کتاب، تغییراتی انقلابی ایجاد کرده‌ایم: ۱- تمام تست‌های غیر تکراری کنکورهای جدید (۹۵ به بعد) را آورده‌ایم؛ ۲- تمام تست‌های غیراستاندارد را در صورت امکان به شکل استاندارد درآورده و در غیر این صورت حذف کرده‌ایم؛ ۳- به کتاب درسی بیشتر از قبل اهمیت داده‌ایم؛ آن را به طور موشکافانه بررسی و براساس آن، تست‌های جدیدی را تألیف کرده‌ایم؛ ۴- پاسخ تست‌ها ویرایش اساسی شده‌اند؛ ۵- بعضی تست‌ها را با تکنیک‌های مفهومی و محاسباتی ویژه‌ای تحت عنوان «تیز باش» و با ترفندهای خاصی حل کرده‌ایم تا مهارت خواننده در حل سریع‌تر تست‌ها افزایش یابد.

خلاصه این‌که کتابِ ویرایش‌شده، قابل قیاس با چاپ اولیهٔ آن نیست و کتابی دگرگونه و به مراتب بهتر از گذشته را در دستان خود دارید!

در انتها لازم می‌دانیم از تمام عزیزانی که در تولید این کتاب نقش داشته‌اند، صمیمانه تشکر کنیم:

دکتر ابوذر نصری، دکتر کمیل نصری، مهندس رضا سبزمیدانی، ملیکا مهری، شیما فرهوش، محمد باغبان، محمدرضا فضلی، سارا دانایی کجانی، مهدی‌رضا کاظمی، احمد نعمتی، زهرا محب‌تاش، منصور داوودوندی، نازنین‌زهرا آذریان، سینا کریمی، شقایق وفابخشی، رابین محمدی، مریم گلی‌حسنلو، ایمان پورپاک، محمد پوررضا، امید احسانی و آرین کرمی و دوستان حرفه‌ای واحد تولید خیلی‌سبز

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 ۶۹

فصل ۵
ترمودینامیک ۹۹

فصل ٦
الکتریسیتهٔ ساکن ۱۱۸

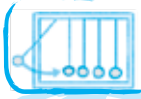
فصل ۷
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۱۵۳

فصل ۸
مغناطیس ۱۹۵

فصل ۹
القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ۲۱۶

فصل ۱۰
حرکت بر خط راست ۲۳۸

فصل ۱۱
دینامیک و حرکت دایره‌ای ۲۹۶


فصل ۱۲
نوسان و موج ۳۲۸

فصل ۱۳
برهم‌کنش‌های موج ۳۶۳

فصل ۱٤
آشنایی با فیزیک اتمی ۳۹۰

فصل ۱۵
آشنایی با فیزیک هسته‌ای ۴۰۸

پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۴۲۱
پاسخ‌نامهٔ کلیدی ۸۱۹

درس ۱

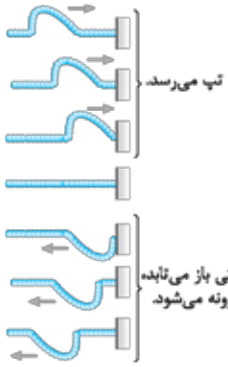
بازتاب موج

امواج خروشان سطح اقیانوس هرگز سکون و آرامش اعماق آن را بر هم نمی‌زنند.
«ویلیام جیمز»

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

بازتاب امواج مکانیکی

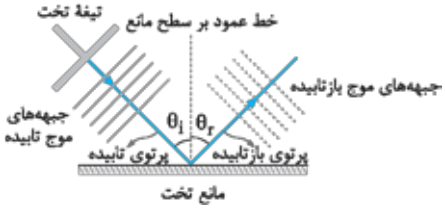
بازتاب در یک بعد: اگر مطابق شکل مقابل، یک انتهای طنابی را به تکیه‌گاهی ثابت وصل کنیم و تپی را در طول طناب ایجاد کنیم، این تپ پس از رسیدن به تکیه‌گاه، نیرویی رو به **بالا** به آن وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتون، تکیه‌گاه نیز با نیرویی رو به **پایین** باعث ایجاد تپی در طناب می‌شود که در جهتی مخالف جهت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



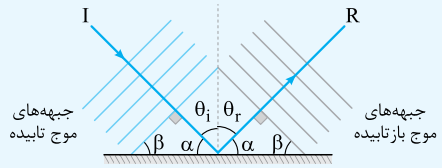
قانون بازتاب عمومی

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.

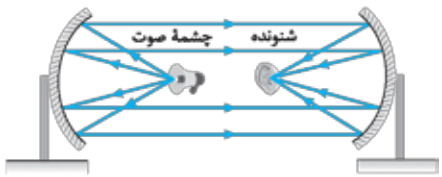
نکته ۲ زاویه‌ای که جبهه‌های موج تابیده (یا بازتابیده) با سطح مانع می‌سازند، برابر زاویهٔ تابش (یا بازتاب) است. در شکل مقابل این زاویه را با β نشان داده‌ایم:



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

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 $0/1\,s$ 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 قبل 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 (به دلیل پدیدهٔ پراش که بعداً راجع به آن می‌خوانید) بازتاب مؤثری اتفاق نمی‌افتد؛ **بنابراین، برای تشخیص یک جسم، اندازهٔ آن باید در حدود طول موج به کار رفته یا بزرگ‌تر از آن باشد.**

تست **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

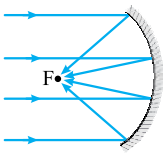
پاسخ گزینهٔ ۱ **گام اول** برای تشخیص یک جسم، اندازهٔ آن باید در حدود طول موج به کار رفته یا بزرگ‌تر از آن باشد. طول موج خفاش را با λ_b و طول موج دلفین را با λ_d نشان می‌دهیم.

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

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

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

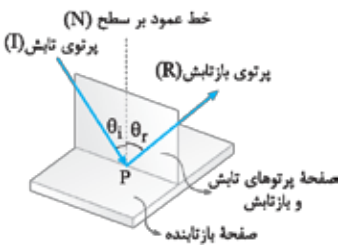
۳) اجاق خورشیدی ← (کاربرد) گرم‌کردن مواد غذایی ← (نوع موج) الکترومغناطیسی (به ویژه امواج فروسرخ)

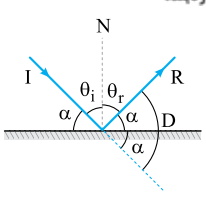
۴) آنتن بشقابی ← (کاربرد) دریافت امواج رادیویی ← (نوع موج) الکترومغناطیسی (از نوع رادیویی)

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:

$$\theta_i + \alpha = 90^\circ\,,\ \theta_r + \alpha = 90^\circ$$

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.

$$D = 2\alpha \xrightarrow{\alpha = 90^\circ - \theta_i} D = 180^\circ - 2\theta_i$$

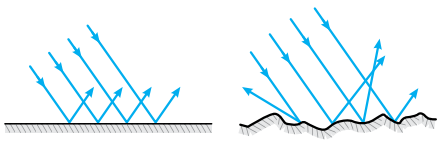
تست **زاویهٔ تابش به یک آینه 10° کاهش می‌یابد. در نتیجه، زاویهٔ محدود به پرتوهای تابش و بازتابش، یک‌سوم مقدار اولیه می‌شود. زاویهٔ تابش اولیه چند درجه بوده است؟**

۱) ۱۵ ۲) $\frac{35}{2}$ ۳) $\frac{45}{2}$ ۴) ۲۵

پاسخ گزینهٔ ۱ زاویهٔ محدود به پرتوهای تابش و بازتابش برابر $2\theta_i$ است؛ لذا می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \theta_{i_2} = \theta_{i_1} - 10^\circ \\ 2\theta_{i_2} = \frac{1}{3} \times (2\theta_{i_1}) \Rightarrow \theta_{i_2} = \frac{1}{3}\theta_{i_1} \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{3}\theta_{i_1} = \theta_{i_1} - 10^\circ \Rightarrow \frac{2}{3}\theta_{i_1} = 10^\circ \Rightarrow \theta_{i_1} = 15^\circ$$

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).

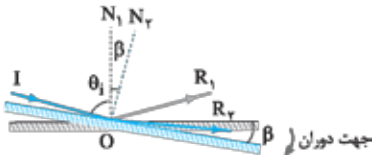


(الف) (ب)

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

طول موج نور مرئی حدود $0/5\ \mu m$ است؛ بنابراین برای نور مرئی سطحی هموار محسوب می‌شود که ابعاد ناهمواری‌های آن بسیار کوچک‌تر از $0/5\ \mu m$ 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 2β 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_1 و پس از دوران آینه R_2 است. با توجه به شکل، داریم:



$$\begin{cases} I\hat{O}R_1 = \theta_i + \theta_r = 2\theta_i \\ I\hat{O}R_2 = 2(\theta_i + \beta) = 2\theta_i + 2\beta \end{cases} \Rightarrow R_1\hat{O}R_2 = I\hat{O}R_2 - I\hat{O}R_1 = 2\beta$$

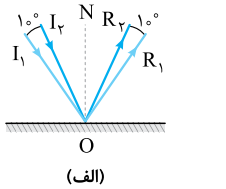
تست **پرتویی با زاویهٔ تابش 30°، بر سطح آینهٔ تختی فرود می‌آید. اگر پرتوی تابش و آینه هر دو 10° در یک جهت (و در یک صفحه) دوران کنند، پرتوی بازتاب چند درجه دوران می‌کند؟**

۱) صفر ۲) ۱۰ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

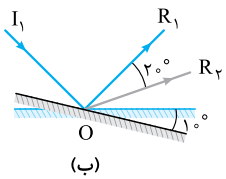
پاسخ گزینهٔ ۲ اثر چرخش پرتوی تابش و آینه بر چرخش پرتوی بازتاب را به طور مستقل بررسی می‌کنیم:

گام اول فرض کنید مطابق شکل (الف)، پرتوی تابش به اندازهٔ 10° 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.

گام دوم حالا فرض کنید مطابق شکل (ب)، آینه به اندازهٔ 10° در جهت ساعتگرد بچرخد. در این صورت، پرتوی بازتاب به اندازهٔ $20^\circ = 2\times10^\circ$ در همان جهت (ساعتگرد) می‌چرخد.



(الف)



(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:

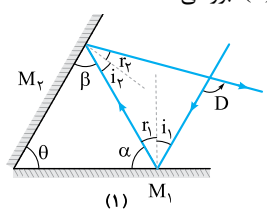
$$\Delta\theta = 2\times10^\circ - 10^\circ \Rightarrow \Delta\theta = 10^\circ$$

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:



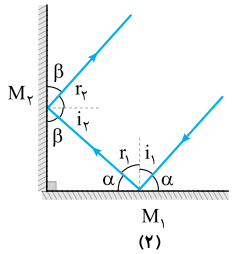
(۱)

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

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

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

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



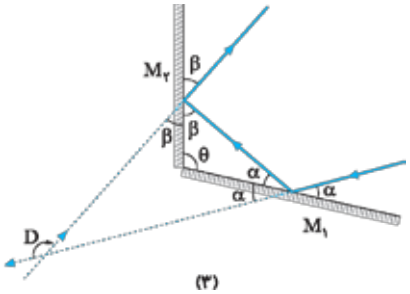
(۲)

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:

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



(۳)

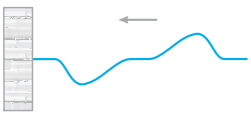
ما از موارد اثبات‌شده در این نمونه در پاسخ تست‌ها استفاده خواهیم کرد!

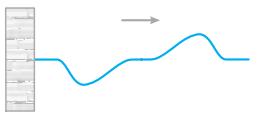
روابط به دست آمده مربوط به حالت‌هایی است که پرتوها فقط یک بار به هر یک از آینه‌ها تابیده شوند. در حالت‌هایی که بیش از یک بازتاب از هر یک از آینه‌ها رخ دهد باید مسیر پرتوها را رسم کرده و مرحله به مرحله اندازهٔ زوایا را تعیین کنیم تا به خواستهٔ تست برسیم.

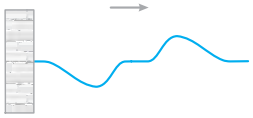
پرسش‌های چهارگزینه‌ای

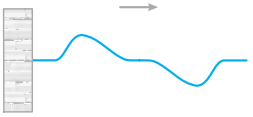
۲۳۰۷- بخشی از یک موج عرضی مانند شکل مقابل، در جهت نشان داده شده در حال انتشار در یک طناب کشیده‌شده است. کدام‌یک از شکل‌های زیر بازتاب این موج از انتهای ثابت تکیه‌گاه را به درستی نشان می‌دهد؟

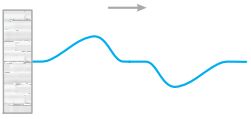
(کتاب درسی ▲)



۱) 

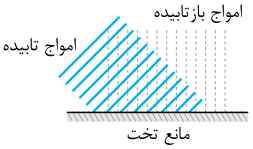
۲) 

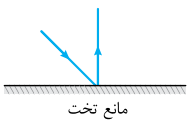
۳) 

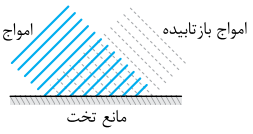
۴) 

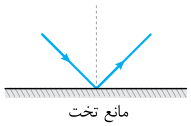
۲۳۰۸- کدام شکل نمودار پرتویی بازتاب یک موج تخت از یک مانع تخت را نشان می‌دهد؟

(کتاب درسی ■)

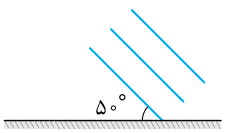
۱) 

۲) 

۳) 

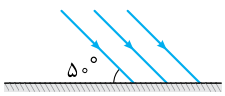
۴) 

۲۳۰۹- 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

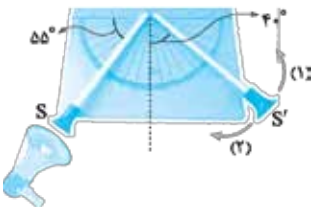
۲۳۱۰- شکل روبه‌رو، پرتوهای موجی را نشان می‌دهد که بر سطح مانع تختی فرود آمده‌اند. زاویهٔ بازتاب پرتوها از سطح مانع و زاویهٔ انحراف پرتوها پس از بازتاب از سطح مانع به ترتیب از راست به چپ چند درجه است؟



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

۲۳۱۱- 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)

۲۳۱۲- 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

۲۳۱۳- 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؟

(تجربی ■ ۹۸)

۱) ۱۳۶۰
۲) ۱۱۹۰
۳) ۱۰۲۰
۴) ۸۵۰

۲۳۱۴- 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؟ *(تجربی ■ ۹۵)*

۱) ۳۵ ۲) ۷۰ ۳) ۱۴۰ ۴) ۱۷۵

۲۳۱۵- اتومبیلی با تندی ثابت $108\ km/h$ روی خط راست به صخرهٔ قائمی نزدیک می‌شود. در لحظه‌ای که فاصلهٔ اتومبیل از صخره برابر $180\ m$ است، راننده بوق می‌زند. اگر تندی انتشار صوت در هوای محیط $330\ m/s$ باشد، چند ثانیه بعد از این لحظه راننده صدای پژواک بوق را می‌شنود؟

۱) ۰/۵ ۲) $\frac{6}{11}$ ۳) ۱ ۴) $\frac{12}{11}$

۲۳۱۶- 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 $20\ cm$ و تندی صوت در هوا $340\ m/s$ باشد، در مدت $1\ s$ 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

۲۳۱۷- بسامد امواج فراصوتی‌ای که وال عنبر تولید می‌کند، حدود $100\ kHz$ و تندی صوت در آب دریا حدود $1500\ m/s$ 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) ۱۵ ،۰/۱ ۲) ۱/۵ ،۰/۱ ۳) ۱۵ ،۰/۲ ۴) ۱/۵ ،۰/۲

۲۳۱۸- در کدام‌یک از موارد زیر از مکان‌یابی پژواکی امواج فراصوت به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود؟ *(تجربی ■ ۹۹، کتاب درسی)*

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

۲۳۱۹- در کدام موارد زیر، از امواج مکانیکی برای مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود؟ *(تجربی ■ ۱۴۰۲ نوبت اول، مشابه تجربی ۹۹ خارج و کتاب درسی)*

الف) اندازه‌گیری تندی شارش خون
ب) دستگاه سونار
پ) اجاق خورشیدی
ت) رادار دوپلری

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

۲۳۲۰- کدام‌یک از عبارت‌های زیر در مورد بازتاب نادرست است؟ *(کتاب درسی ▲)*

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.

۲۳۲۱- 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

۲۳۲۲- 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؟ *(ریاضی ■ ۸۶ خارج)*

۱) ۱۰ ۲) ۱۸ ۳) ۲۰ ۴) ۳۶

۲۳۲۳- 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

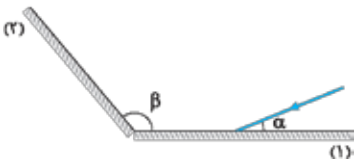
۲۳۲۴- با ثابت نگه‌داشتن پرتوی تابش، آینه را 30° دوران می‌دهیم، در نتیجه زاویهٔ بین پرتوهای تابش و بازتاب، ۴ برابر می‌شود. زاویهٔ تابش اولیه چند درجه بوده است؟

۱) ۱۰ ۲) ۱۵ ۳) ۲۰ ۴) ۳۰

۲۳۲۵- 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؟ *(تجربی ■ ۹۷)*

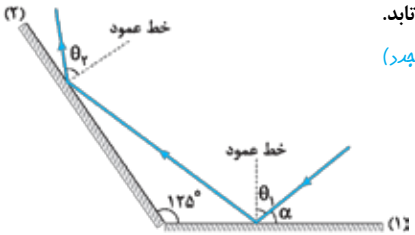
۱) ۱۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۳۰

۲۳۲۶- 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؟ *(ریاضی ■ ۹۹ خارج)*



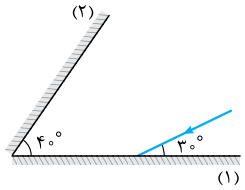
۱) $\pi-\beta$ ۲) $\beta-\alpha$
۳) $\pi-(\beta-\alpha)$ ۴) $\pi-(\alpha+\beta)$

۲۳۲۷- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری تحت زاویهٔ α به آینهٔ تخت (۱) و پس از بازتاب به آینهٔ تخت (۲) می‌تابد. اگر $\theta_2 - \theta_1 = 15^\circ$ باشد، زاویهٔ α چند درجه است؟ (تجربی ■ ۱۴۰۱ کنکور مجدد)



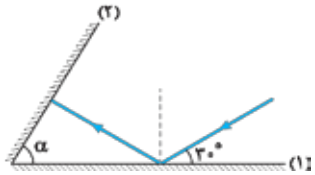
۱) ۲۰
۲) ۲۵
۳) ۳۰
۴) ۳۵

۲۳۲۸- 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؟ (تجربی ■ ۹۸ خارج)



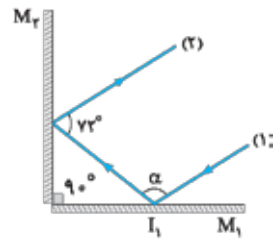
۱) ۶۰
۲) ۵۰
۳) ۴۰
۴) ۳۰

۲۳۲۹- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری تحت زاویهٔ 30° به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینهٔ تخت (۲) می‌تابد. اگر در دومین بازتاب از آینهٔ (۱) پرتوی نور موازی آینهٔ (۲) شود، زاویهٔ α چند درجه است؟ (تجربی ■ ۱۴۰۰)



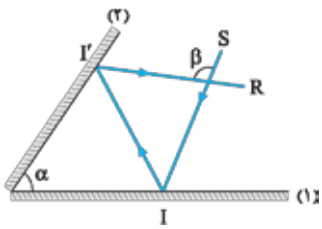
۱) ۳۰
۲) ۴۰
۳) ۵۰
۴) ۶۰

۲۳۳۰- 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 ..... .



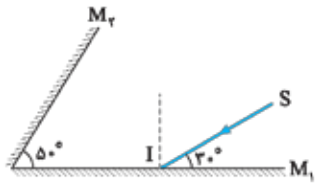
۱) ۹۸، موازی هستند.
۲) ۹۸، یکدیگر را قطع می‌کنند.
۳) ۱۰۸، موازی هستند.
۴) ۱۰۸، یکدیگر را قطع می‌کنند.

۲۳۳۱- 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؟ (ریاضی ■ ۹۲)



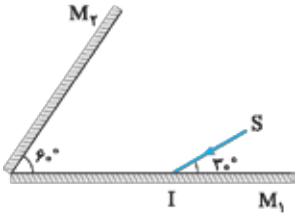
۱) ۱
۲) ۲
۳) $\frac{۳}{۲}$
۴) بستگی به زاویهٔ تابش آینه (۱) دارد.

۲۳۳۲- در شکل مقابل، امتداد پرتوی نور بازتابیده از آینهٔ M_2 با امتداد پرتوی SI، زاویهٔ چند درجه می‌سازد؟ (تجربی ■ ۱۴۰۰ خارج)



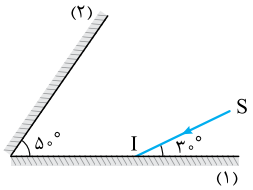
۱) ۴۰
۲) ۷۰
۳) ۱۰۰
۴) ۱۱۰

۲۳۳۳- در شکل مقابل، پرتوی SI بر سطح آینهٔ M_1 تابیده است. زاویهٔ بین پرتوی خروجی از مجموعه و پرتوی SI چند درجه است؟

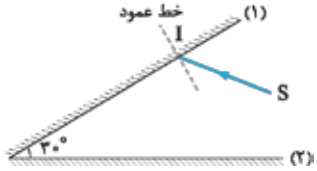


۱) ۶۰
۲) ۱۲۰
۳) ۱۸۰
۴) ۲۴۰

۲۳۳۴- 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؟ (تجربی ■ ۹۸)



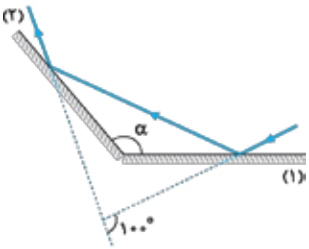
۱) ۱۲۰
۲) ۱۴۰
۳) ۱۶۰
۴) ۱۸۰



۲۳۳۵- مطابق شکل مقابل، پرتوی SI با زاویهٔ تابش 40° بر آینه (۱) می‌تابد. این پرتو پس از بازتابش‌های متوالی، آینه‌ها را ترک می‌کند. آخرین زاویهٔ بازتابش چند درجه است؟ (سطح آینه‌های تخت، به اندازهٔ کافی بزرگ فرض شود.)

۱) ۵۰ ۲) ۶۰ *(تجربی ■ ۱۴۰۱ خارج)*

۳) ۷۰ ۴) ۸۰



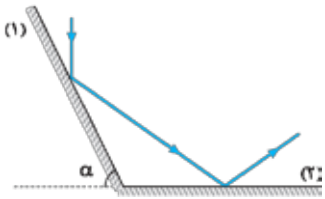
۲۳۳۶- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینهٔ (۱) می‌تابد و پس از بازتاب، به آینهٔ (۲) برخورد می‌کند. اگر امتداد پرتوی تابش آینهٔ (۱) با امتداد پرتوی بازتاب آینهٔ (۲) زاویهٔ 100° بسازد، α چند درجه است؟ *(ریاضی ■ ۸۸ خارج)*

۱) ۱۰۰

۲) ۱۲۰

۳) ۱۳۰

۴) ۱۴۰



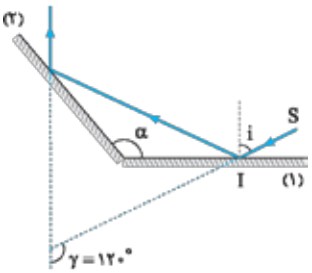
۲۳۳۷- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد و در نهایت از آینهٔ تخت (۲) بازتاب می‌شود. پرتوی تابش به آینهٔ (۱) با پرتوی بازتابش از آینهٔ (۲) چه زاویه‌ای می‌سازد؟ *(تجربی ■ ۹۶ خارج)*

۱) α

۲) 2α

۳) $180-\alpha$

۴) $90+\alpha$



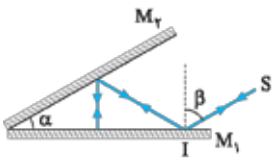
۲۳۳۸- مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی SI، تحت زاویهٔ تابش i به آینهٔ تخت (۱) می‌تابد. زاویهٔ بین پرتوی SI با پرتوی بازتاب آینهٔ (۲)، $\gamma = 120^\circ$ است. اگر زاویهٔ i، 20° افزایش یابد، γ چه تغییری می‌کند؟ *(ریاضی ■ ۹۹)*

۱) 40° افزایش می‌یابد.

۲) 20° افزایش می‌یابد.

۳) 20° کاهش می‌یابد.

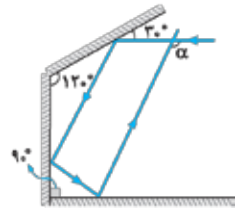
۴) ثابت می‌ماند.



۲۳۳۹- 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) $\alpha + \beta = 90^\circ$



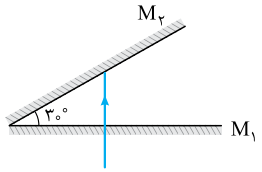
۲۳۴۰- در شکل روبه‌رو زاویهٔ α چند درجه است؟ *(تجربی ■ ۹۵)*

۱) ۱۱۰

۲) ۱۲۰

۳) ۱۳۰

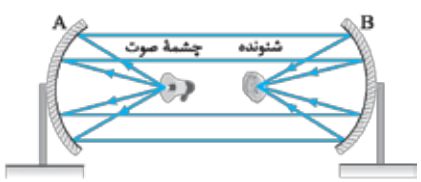
۴) ۱۵۰



۲۳۴۱- 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؟ *(ریاضی ■ ۹۴ خارج)*

۱) ۱ ۲) ۲

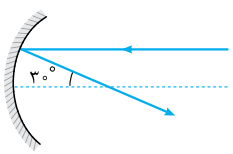
۳) ۳ ۴) ۴



۲۳۴۲- 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



۲۳۴۳- 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

(درس ۲)

شکست موج و پراش موج

شکست موج

تغییر محیط انتشار موج: وقتی محیط انتشار موج تغییر می‌کند، بخشی از آن به محیط دوم راه پیدا می‌کند و بخشی از آن از مرز جدایی دو محیط بازتابیده می‌شود. بسیاری از ویژگی‌های موج راه‌یافته به محیط دوم با موج اولیه فرق دارد.

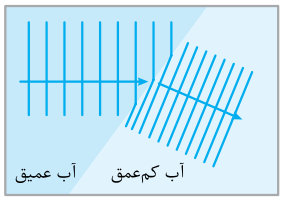
نمونه ۱ در شکل مقابل، دو طناب نازک و ضخیم به هم متصل‌اند و تپی در طناب نازک ایجاد شده است. بخشی از تپ از طناب ضخیم عبور می‌کند و بخشی از آن به طور وارونه برمی‌گردد. بسامد موج‌های جدید با موج اولیه برابر است. از طرفی چون چگالی خطی جرم طناب ضخیم، بیشتر از طناب نازک است، تندی انتشار موج در طناب ضخیم و طول موج آن نسبت به موج اولیه کم‌تر است.

$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{\mu_{\text{ضخیم}}>\mu_{\text{نازک}}} v_{\text{ضخیم}}<v_{\text{نازک}} \xrightarrow[f_{\text{ضخیم}}=f_{\text{نازک}}]{\lambda=\frac{v}{f}} \lambda_{\text{ضخیم}}<\lambda_{\text{نازک}}$$

انرژی تپ‌های ثانویه از تپ اولیه کم‌تر است و به همین دلیل در شکل بالا، دامنهٔ موج اولیه از دامنهٔ موج‌های ثانویه بزرگ‌تر است.

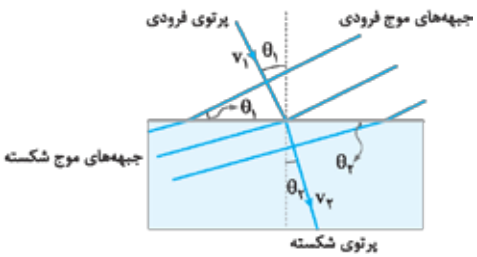
شکست موج: اگر موجی که در محیط‌های دو یا سه‌بعدی منتشر می‌شود، به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگری شود، جهت انتشار آن تغییر می‌کند و اصطلاحاً **شکست** پیدا می‌کند. در اثر این رویداد، تندی موج و طول موجِ موج تغییر می‌کند.

نمونه ۲ یک تیغهٔ شیشه‌ای ضخیم را در گوشه‌ای از یک تشت موج قرار می‌دهیم به طوری که عمق آب در بالای شیشه به طرز محسوسی کم‌تر از عمق آب در جاهای دیگر تشت باشد. در همین حال امواج تختی را بر سطح آب‌های عمیق‌تر ایجاد می‌کنیم. زمانی که امواج به آب‌های **کم‌عمق** وارد می‌شوند، بسامد آن‌ها تغییر نمی‌کند، اما تندی و در نتیجه طول موج آن‌ها **کاهش** می‌یابد و مطابق شکل مقابل، فاصلهٔ بین جبهه‌های موج کم می‌شود و به این ترتیب جبهه‌های موج تغییر جهت می‌دهند.



قانون شکست عمومی

مطابق شکل زیر، اگر موج به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگری شود، در لحظهٔ عبور از مرز دو محیط تغییر مسیر می‌دهد. زاویهٔ پرتوی فرودی با خط عمود بر مرز دو محیط (زاویهٔ جبهه‌های موج فرودی با مرز دو محیط) را «زاویهٔ تابش (θ_i)» و زاویهٔ پرتوی شکسته با خط عمود بر مرز دو محیط (زاویهٔ جبهه‌های موج شکسته با مرز دو محیط) را «زاویهٔ شکست (θ_r)» می‌نامند. در شکل مقابل θ_i را با θ_1 و θ_r را با θ_2 نشان داده‌ایم. طبق قانون شکست عمومی اگر تندی انتشار موج فرودی را با v_1 و تندی انتشار موج شکسته را با v_2 نشان دهیم، رابطهٔ مقابل برقرار است:

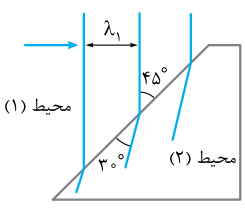


$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}$$

اگر تندی موج در اثر تغییر محیط افزایش یابد، زاویهٔ شکست بزرگ‌تر از زاویهٔ تابش می‌شود: $v_2>v_1 \Rightarrow \theta_2>\theta_1$

و اگر تندی موج در اثر تغییر محیط کاهش یابد، زاویهٔ شکست کوچک‌تر از زاویهٔ تابش می‌شود: $v_2<v_1 \Rightarrow \theta_2<\theta_1$

تست **شکل روبه‌رو جبهه‌های موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که از محیط (۱) وارد محیط (۲) شده است. تندی نور در محیط (۱) چند برابر تندی نور محیط (۲) است؟** (ریاضی ■ ۱۴۰۰ خارج)



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

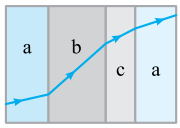
پاسخ گزینهٔ ۳ زاویهٔ بین جبهه‌های موج فرودی و مرز دو محیط همان زاویهٔ تابش (θ_1) و زاویهٔ بین جبهه‌های موج شکسته با مرز دو محیط همان زاویهٔ شکست (θ_2) است؛ بنابراین:

$$\theta_1=45^\circ, \theta_2=30^\circ$$

طبق قانون شکست عمومی داریم:

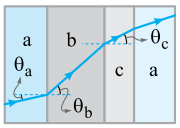
$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}}=\sqrt{2}$$

تست شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیهٔ a از طریق محیط‌های b و c به محیط a بازمی‌گردد. کدام مقایسه بین تندی موج در سه محیط a، b و c درست است؟ (مرز جدایی محیط‌ها با هم موازی‌اند.)



۱) $v_a > v_b > v_c$ ۲) $v_a > v_c > v_b$ ۳) $v_b > v_a > v_c$ ۴) $v_b > v_c > v_a$

پاسخ گزینهٔ ۴ هر چه زاویهٔ پرتو با خط عمود کم‌تر باشد، تندی نور در آن محیط کم‌تر است. بنابراین با توجه به شکل روبه‌رو داریم:



$\theta_b > \theta_c > \theta_a \Rightarrow v_b > v_c > v_a$

ضریب شکست: نسبت تندی نور در خلأ ($c \simeq 3\times10^8\ m/s$) به تندی نور در یک محیط را **ضریب شکست** آن محیط می‌گویند و آن را با n نشان می‌دهند:

$$n = \frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}} \Rightarrow \boxed{n = \frac{c}{v}}$$

هر چه ضریب شکست یک محیط کم‌تر باشد، تندی نور در آن محیط بیشتر است.

نکته۱ اگر تندی نور در دو محیط (۱) و (۲) را با v_1 و v_2 نشان دهیم، آن‌گاه:

$$v = \frac{c}{n} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

نکته۲ تندی نور در خلأ بیشینه و برابر $v = c \simeq 3\times10^8\ m/s$ است؛ بنابراین، ضریب شکست خلأ کم‌ترین مقدار ممکن و برابر ۱ است:

$$n_{\text{خلأ}} = n_{min} = 1 \Rightarrow n_{\text{محیط‌های مادی}} > 1$$

ضریب شکست اغلب گازها اندکی بزرگ‌تر از ۱ است و ضریب شکست هوا با تقریب مناسبی برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود: $n_{\text{هوا}} \simeq 1$

تست اگر ضریب شکست آب $\frac{4}{3}$ و تندی نور در آب ۲۲۵۰۰۰ km/s باشد، تندی نور در شیشه چند کیلومتر بر ثانیه است؟ (ضریب شکست شیشه $\frac{3}{2}$ است.)

۱) $\frac{1}{2}\times10^5$ ۲) 4×10^5 ۳) 2×10^5 ۴) $\frac{1}{4}\times10^5$

پاسخ گزینهٔ ۳ مشخصات وابسته به شیشه را با زیروند g و مشخصات وابسته به آب را با زیروند w نشان می‌دهیم و با استفاده از نکتهٔ ۱، می‌نویسیم:

$$\frac{v_g}{v_w} = \frac{n_w}{n_g} \Rightarrow \frac{v_g}{225000} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{3}{2}} \Rightarrow v_g = 225000\times\frac{8}{9} = 200000\ km/s \Rightarrow v_g = 2\times10^5\ km/s$$

قانون شکست اسنل

وقتی نور به سطح جدایی دو محیط شفاف می‌تابد، مطابق شکل مقابل، بخشی از آن وارد محیط دوم می‌شود و بخشی از آن بازتابیده می‌شود. اگر ضریب شکست محیط‌های اول و دوم را به ترتیب با n_1 و n_2 نشان دهیم، آن‌گاه:

$$\begin{cases}\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} \\ \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}\end{cases} \Rightarrow \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \boxed{n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2}$$

اگر نور از محیطی با ضریب شکست **کم‌تر** به محیطی با ضریب شکست **بیشتر** بتابد (مثلاً از هوا به آب بتابد)، به خط عمود **نزدیک** می‌شود:

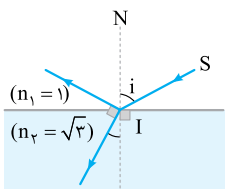
$$n_2 > n_1 \Rightarrow \theta_2 < \theta_1$$

و اگر نور از محیطی با ضریب شکست **بیشتر** به محیطی با ضریب شکست **کم‌تر** بتابد (مثلاً از آب وارد هوا شود)، از خط عمود **دور** می‌شود:

$$n_2 < n_1 \Rightarrow \theta_2 > \theta_1$$

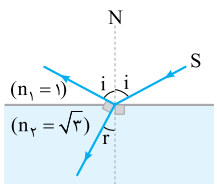
زاویهٔ انحراف پرتوی (D) برابر بزرگی تفاضل زاویه‌های تابش و شکست است: $\boxed{D = |\theta_2 - \theta_1|}$

تست در شکل روبه‌رو، پرتوی SI به سطح یک محیط شفاف تابیده است؛ به طوری که قسمتی از آن بازتاب پیدا کرده و به محیط اول برگشته و قسمتی نیز شکسته و وارد محیط دوم شده است. اگر پرتوهای بازتاب و شکست بر هم عمود باشند، زاویهٔ تابش (i) چند درجه است؟ (ریاضی ■ ۸۶)



۱) ۱۵ ۲) ۳۰ ۳) ۴۵ ۴) ۶۰

پاسخ گزینهٔ ۴ پرتوی تابش و بازتاب، زاویه‌های برابر با خط N درست می‌کنند. (چرا؟) لذا می‌توان شکل را به صورت مقابل نشان داد. از روی شکل مشخص است: $i + r = 90^\circ$

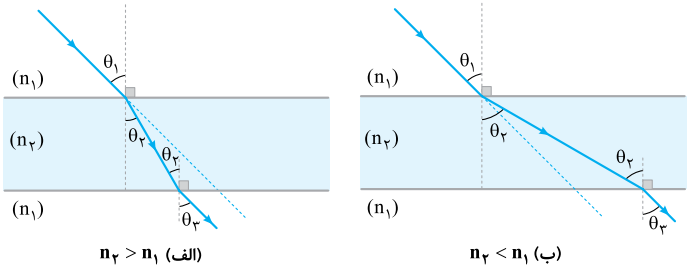


از طرفی، طبق قانون اسنل:

$$n_1\sin i = n_2\sin r \Rightarrow 1\times\sin i = \sqrt{3}\times\sin(90^\circ - i) \Rightarrow \sin i = \sqrt{3}\cos i \Rightarrow \tan i = \sqrt{3} \Rightarrow i = 60^\circ$$

تیغهٔ متوازی‌السطوح

تیغهٔ متوازی‌السطوح به فضای بین دو سطح تخت موازی می‌گویند که ماده‌ای با ضریب شکست متفاوت از محیط، آن را اشغال کرده باشد. برای مثال، یک تیغهٔ شیشه‌ای با سطوح تخت موازی را می‌توان یک تیغهٔ متوازی‌السطوح محسوب کرد. اگر یک پرتو از تیغهٔ متوازی‌السطوح عبور کند و دوباره وارد محیط اول شود، به موازات پرتوی اولیه به حرکت خود ادامه می‌دهد؛ یعنی زاویه‌ای که نور در هنگام ورود به تیغه، با خط عمود می‌سازد با زاویه‌ای که هنگام خروج از تیغه، با خط عمود می‌سازد برابر است.

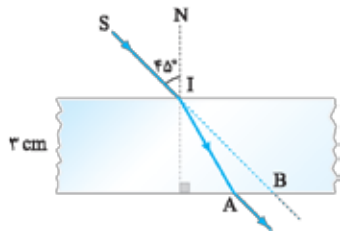


برای اثبات کافی است به یکی از شکل‌های مقابل توجه کنید و قانون اسنل را دو بار بنویسید. یک بار هنگام ورود نور از محیط اول به دوم و بار دیگر هنگام ورود نور از محیط دوم به محیط سوم. (که در واقع همان محیط اول است.)

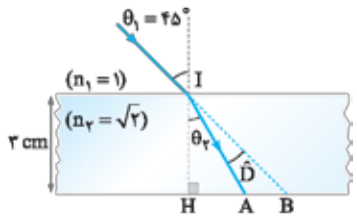
$$\begin{cases} n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \\ n_2 \sin\theta_2 = n_1 \sin\theta_3 \end{cases} \Rightarrow n_1 \sin\theta_1 = n_1 \sin\theta_3 \Rightarrow \theta_1 = \theta_3$$

تست **در شکل روبه‌رو، پرتوی SI با زاویهٔ تابش 45°، به سطح یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت $3\ cm$ می‌تابد و در نقطهٔ A از تیغه خارج می‌شود. اگر راستای SI در نقطهٔ B از شیشه خارج شود، AB چند سانتی‌متر است؟ ($\sqrt{2}$ = ضریب شکست تیغهٔ شیشه‌ای)** (ریاضی ■ ۹۱)

۱) $\sqrt{3}$ ۲) $3-\sqrt{3}$ ۳) $1+\sqrt{3}$ ۴) $2\sqrt{3}$



پاسخ **گزینهٔ ۲** **گام اول** براساس شکل زیر، زاویهٔ شکست پرتو در محیط (۲) را به دست می‌آوریم:



$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \Rightarrow 1 \times \sin 45^\circ = \sqrt{2} \times \sin\theta_2$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2}\sin\theta_2 \Rightarrow \sin\theta_2 = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta_2 = 30^\circ$$

گام دوم در مثلث قائم‌الزاویهٔ ΔIHA می‌توان نوشت:

$$\tan\theta_2 = \frac{AH}{IH} \Rightarrow \tan 30^\circ = \frac{AH}{3} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{AH}{3} \Rightarrow AH = \sqrt{3}\ cm$$

گام سوم در مثلث قائم‌الزاویهٔ ΔIHB می‌توان نوشت:

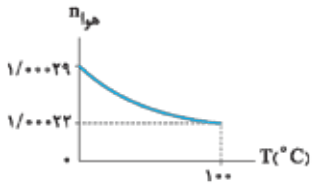
$$\tan(\theta_2 + D) = \frac{BH}{IH} \xrightarrow{\theta_2 + \hat{D} = \theta_1 = 45^\circ} \tan 45^\circ = \frac{BH}{3} \Rightarrow 1 = \frac{BH}{3} \Rightarrow BH = 3\ cm$$

گام چهارم طول AB به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

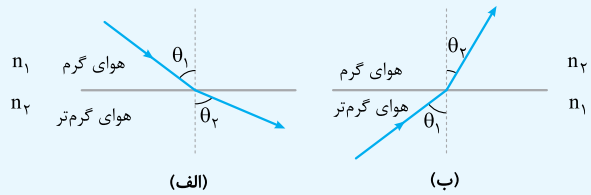
$$AB = BH - AH \Rightarrow AB = (3 - \sqrt{3})\ cm$$

سراب

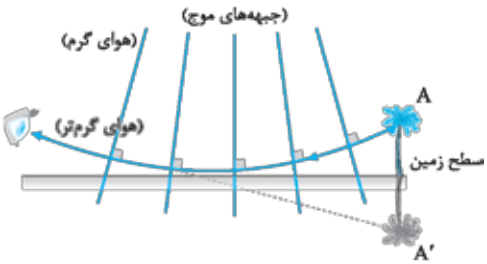
وابستگی ضریب شکست هوا به دما: هر چه دمای هوا **بالاتر** باشد، چگالی هوا و ضریب شکست آن **کم‌تر** است. شکل مقابل نمودار تغییرات ضریب شکست هوا با دما را نشان می‌دهد.



مطابق شکل (الف)، اگر نور از لایهٔ هوای گرم وارد لایهٔ هوای گرم‌تر شود $(n_2 < n_1)$، از خط عمود دور می‌شود $(\theta_2 > \theta_1)$ و مطابق شکل (ب)، اگر نور هوای گرم‌تر را به سمت هوای گرم ترک کند $(n_2 > n_1)$، به خط عمود نزدیک می‌شود $(\theta_2 < \theta_1)$.



سراب: شکل زیر مدل ساده‌شده‌ای از حرکت یک پرتوی نور در یک روز گرم تابستانی است که نشان می‌دهد پدیدهٔ سراب چگونه اتفاق می‌افتد. در یک روز گرم، لایه‌های هوای مجاور سطح زمین گرم‌تر از لایه‌های هوای بالاتر هستند؛ بنابراین ضریب شکست هوا در نزدیکی سطح زمین کم‌تر و تندی نور در این ناحیه بیشتر از مناطق بالاتر است. در نتیجه بخش‌های پایینی جبهه‌های موج سریع‌تر از بخش‌های بالایی حرکت می‌کنند و هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شوند، فاصلهٔ بین جبهه‌های موج متوالی بیشتر می‌شود. پرتوی نوری که از نوک درخت به سمت پایین می‌آید، باید عمود بر جبهه‌های موج حرکت کند، بنابراین مسیری مطابق شکل مقابل را می‌پیماید تا به چشم ناظر برسد. انسان اجسام را در راستای پرتوهایی می‌بیند که به چشم او می‌رسند؛ بنابراین، تصویر A را در A' می‌بیند و حس می‌کند تصویر درخت را بر سطح زمین می‌بیند.

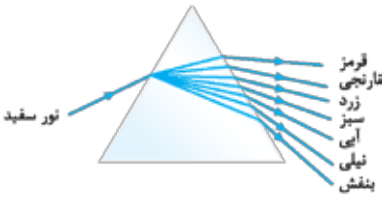


پاشندگی نور

وابستگی ضریب شکست محیط مادی به طول موج: ضریب شکست یک محیط مادی شفاف برای طول موج‌های مختلف با هم فرق دارد. عموماً ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های **کوتاه‌تر**، **بیشتر** است.

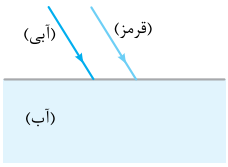
نمونه شکل مقابل نمودار تغییرات ضریب شکست شیشهٔ معمولی را برحسب طول موج نور مرئی نشان می‌دهد. شکل نشان می‌دهد ضریب شکست شیشه برای نور بنفش، بیشینه و برای نور قرمز، کمینه است.

پاشندگی نور در منشور: اگر یک نور مرکب (شامل چند طول موج) به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگر شود، به نورهای سازندهٔ آن تجزیه می‌شود. به این پدیده «**پاشندگی نور**» می‌گویند. شکل مقابل نحوهٔ پاشندگی نور مرکب توسط منشور را نشان می‌دهد.

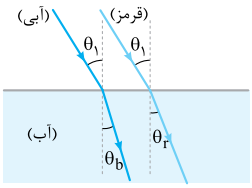


تست **در شکل روبه‌رو، دو پرتوی آبی و قرمزرنگ با زاویهٔ تابش یکسان از هوا به سطح آب می‌تابند. وضعیت دو پرتو در آب چگونه است؟**

۱) همگرا
۲) واگرا
۳) موازی
۴) ابتدا همگرا، سپس واگرا



پاسخ گزینهٔ ۲ ضریب شکست آب برای نور آبی بیشتر از نور قرمز است. بنابراین، نور آبی بیشتر از نور قرمز می‌شکند و به خط عمود نزدیک‌تر می‌شود. به بیان ریاضی، اگر زاویهٔ شکست پرتوی آبی را با θ_b و زاویهٔ شکست پرتوی قرمز را با θ_r نشان دهیم، داریم:



$$\begin{cases} n_{هوا}\sin\theta_1 = n_1\sin\theta_b \\ n_{هوا}\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_r \end{cases} \Rightarrow n_1\sin\theta_b = n_2\sin\theta_r \xrightarrow{n_1>n_2} \sin\theta_b < \sin\theta_r \Rightarrow \theta_b < \theta_r$$

با این حساب، دو پرتو در آب به صورت واگرا از هم فاصله می‌گیرند.

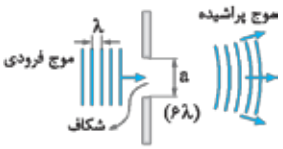
پراش

وقتی یک موج تخت به شکاف ایجادشده در یک مانع یا لبه‌های مانع می‌رسد دوتا اتفاق می‌تواند رقم بخورد:

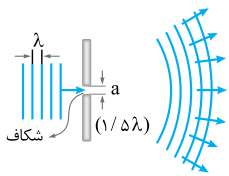
الف) اگر مطابق شکل (الف)، پهنای شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول موج باشد، موجی که از شکاف عبور می‌کند شکل تخت خود را تا حد زیادی حفظ می‌کند. البته همان‌طور که شکل نشان می‌دهد موج در نزدیکی لبه‌های مانع کمی خم می‌شود، ولی ویژگی‌های دیگر موج مثل تندی انتشار، طول موج و بسامد موج تغییر نمی‌کنند.

ب) اگر مطابق شکل (ب)، پهنای شکاف در حدود طول موج باشد، جبهه‌های موج به شکل دایره‌ای یا کروی از شکاف خارج و در همهٔ جهت‌ها گسترده می‌شوند.

به این پدیده که در آن موج در هنگام عبور از لبهٔ یک مانع یا شکاف بسیار کوچک به اطراف خمیده می‌شود، «**پراش**» می‌گویند.



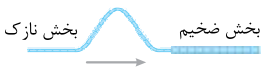
(الف)

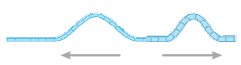
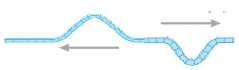
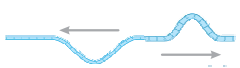


(ب)

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۲۳۴۴- شکل مقابل، عبور یک تپ در طول طنابی را نشان می‌دهد که از دو بخش، یکی نازک و دیگری ضخیم تشکیل شده است. کدام شکل تپ عبوری و تپ بازتابیده در این طناب را به درستی نشان می‌دهد؟ (جنس طناب در تمام طول آن یکسان است) *(کتاب درسی ■)*

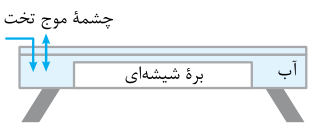


۱) 
۲) 
۳) 
۴)

۲۳۴۵- موج عرضی سینوسی از قسمت نازک طناب به قسمت ضخیم آن وارد می‌شود. بسامد و طول موج آن به ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟ *(ریاضی ■ ۱۴۰۰ خارج، کتاب درسی)*

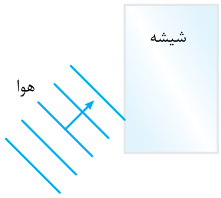
۱) کاهش می‌یابد، ثابت می‌ماند
۲) کاهش می‌یابد، کاهش می‌یابد
۳) ثابت می‌ماند، افزایش می‌یابد
۴) ثابت می‌ماند، کاهش می‌یابد

۲۳۴۶- در تشت موج شکل مقابل به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای که با بسامد ۵ Hz کار می‌کند، امواج تختی ایجاد می‌کنیم، به طوری که فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی آن برابر با ۱۰ cm می‌شود. اکنون بُره‌ای شیشه‌ای را در کف این تشت قرار می‌دهیم. اگر تندی امواج در ناحیهٔ کم‌عمق ۰/۴ برابر تندی امواج در ناحیهٔ عمیق باشد، به ترتیب تندی و طول موج امواج در ناحیهٔ کم‌عمق چند سانتی‌متر بر ثانیه و چند سانتی‌متر می‌شود؟ *(کتاب درسی ■)*



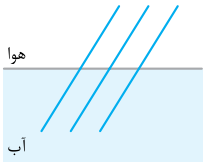
۱) ۲۰، ۴
۲) ۲۰، ۲۵
۳) ۵۰، ۴
۴) ۵۰، ۲۵

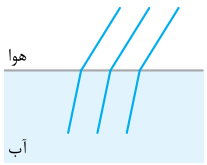
۲۳۴۷- در شکل مقابل، موج نوری فرودی از هوا وارد شیشه می‌شود. بخشی از موج در سطح جدایی دو محیط بازمی‌تابد و بخشی دیگر شکست می‌یابد و وارد شیشه می‌شود. کدام‌یک از مشخصه‌های زیر برای موج بازتابیده و موج شکست‌یافته یکسان است؟ (کتاب درسی ■)

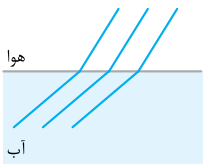


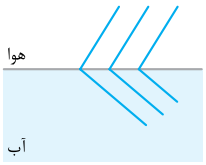
۱) تندی
۲) طول موج
۳) امتداد
۴) بسامد

۲۳۴۸- نوری به طور مایل از هوا به آب می‌تابد. کدام شکل جبهه‌های موج در این دو محیط را به درستی نشان می‌دهد؟ (کتاب درسی ▲)

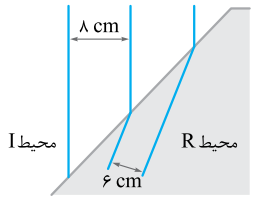
۱) 

۲) 

۳) 

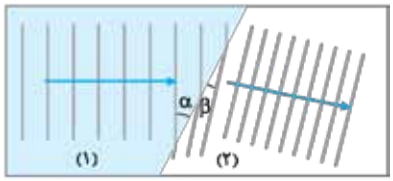
۴) 

۲۳۴۹- شکل مقابل، جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند. اگر بسامد چشمهٔ موج ۱۰ Hz باشد، با ورود موج از محیط I به محیط R تندی موج چند سانتی‌متر بر ثانیه و چگونه تغییر می‌کند؟ (کتاب درسی ▲)



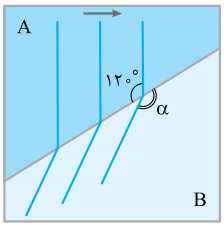
۱) ۲، کاهش
۲) ۲، افزایش
۳) ۲۰، کاهش
۴) ۲۰، افزایش

۲۳۵۰- شکل مقابل، ورود موج از محیط (۱) به محیط (۲) را نشان می‌دهد. اگر $\alpha = 37^\circ$ و $\beta = 30^\circ$ باشد، نسبت سرعت انتشار موج در محیط (۱) به سرعت انتشار موج در محیط (۲) چه‌قدر است؟ $(\cos 37^\circ = 0/8)$ (تجربی ■۱۴۰۱، مشابه ریاضی ۱۴۰۰ خارج)



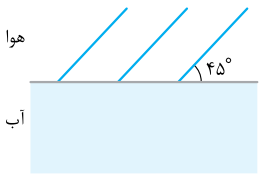
۱) $\frac{1/6\sqrt{3}}{3}$
۲) $\frac{5}{6}$
۳) $\frac{5\sqrt{3}}{8}$
۴) $\frac{6}{5}$

۲۳۵۱- شکل روبه‌رو نمای بالا از جبهه‌های تخت متوالی را در سطح آب یک تشت موج نشان می‌دهد که عمق بخش‌های A و B در آن یکسان نیست. اگر تندی موج عرضی در سطح آب بخش‌های A و B به ترتیب ۳۰ cm / s و $10\sqrt{3}$ cm / s باشد، عمق آب در بخش ..... کم‌تر از بخش دیگر بوده و زاویهٔ α در شکل برابر با ..... است.



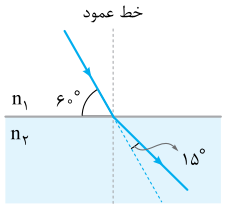
۱) ۱۳۵ ، A
۲) ۱۵۰ ، A
۳) ۱۳۵ ، B
۴) ۱۵۰ ، B

۲۳۵۲- مطابق شکل مقابل جبهه‌های تخت یک موج صوتی از هوا وارد آب شده و پس از ورود به محیط دوم ۸° از امتداد انتشار اولیه منحرف می‌شوند. تندی صوت در آب چند متر بر ثانیه است؟ ($\sin 37^\circ = 0/6$ ، $\sqrt{2} \simeq 1/4$ و تندی صوت در هوا را ۳۳۶ m / s در نظر بگیرید.)



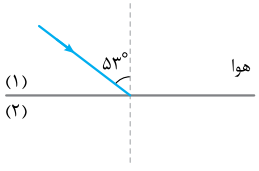
۱) ۲۸۸
۲) ۳۸۴
۳) ۲۹۴
۴) ۳۹۲

۲۳۵۳- مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی نوری از محیط (۱) وارد محیط (۲) می‌شود. طول موج نور در محیط (۲) چند برابر طول موج نور در محیط (۱) است؟ (ریاضی ■۹۹)



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

۲۳۵۴- مطابق شکل زیر، پرتوی نوری از هوا به یک محیط شفاف می‌تابد و در ورود به محیط (۲)، ۱۶° از راستای اولیه منحرف می‌شود. اگر طول موج نور در محیط دوم، $\frac{1}{8}\mu m$ از طول موج نور در هوا کم‌تر باشد، بسامد نور چند هرتز است؟ $(\sin 53^\circ = 0/8$ سرعت نور در هوا $= 3\times10^8$ m / s) (ریاضی ■۱۴۰۰)



۱) 6×10^{14}
۲) 6×10^{15}
۳) $8/4\times10^{14}$
۴) $8/4\times10^{15}$

۲۳۵۵- طول موج نور قرمز لیزر هلیم ـ نئون در هوا حدود ۶۲۵ nm است، ولی در زجاجیهٔ چشم ۵۰۰ nm است. بسامد این نور برحسب هرتز و ضریب شکست زجاجیه به ترتیب تقریباً مطابق کدام گزینه است؟ $(c = 3\times10^5$ km / s) (کتاب درسی ■)

۱) $1/25$ ، $4/8\times10^{11}$
۲) $0/8$ ، $4/8\times10^{11}$
۳) $1/25$ ، $4/8\times10^{14}$
۴) $0/8$ ، $4/8\times10^{14}$

۲۳۵۶- نوری که طول موج آن در خلأ λ_1 است، وارد محیط شفافی می‌شود و طول موج آن ۱۵۰ نانومتر تغییر می‌کند. اگر بسامد این نور 5×10^{14} Hz باشد، ضریب شکست این محیط شفاف چه‌قدر است؟ $(c = 3\times10^8\ m/s)$ (ریاضی ■ ۱۴۰۲ نوبت اول)

۱) $\frac{3}{2}$ ۲) $\frac{4}{3}$ ۳) $\frac{5}{4}$ ۴) $\frac{8}{5}$

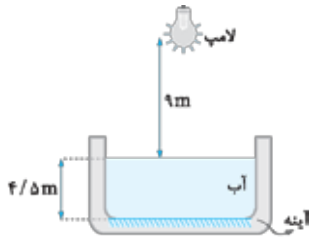
۲۳۵۷- ضریب شکست شیشه نسبت به آب $\frac{9}{8}$ و ضریب شکست الماس نسبت به شیشه برابر $\frac{8}{5}$ است. در مدت‌زمانی که نور مسافت ۳۶ سانتی‌متر را در آب طی می‌کند، چند سانتی‌متر را در الماس طی می‌کند؟ (تجربی ▲ ۶۵)

۱) ۱۵ ۲) ۲۰ ۳) ۴۸ ۴) ۶۴ / ۸

۲۳۵۸- در خلأ، طول موج نور قرمز $\frac{7}{4}$ برابر طول موج نور بنفش است. اگر طول موج نور قرمز در یک محیط شفاف به ضریب شکست n، با طول موج نور بنفش در آب برابر باشد، n کدام است؟ (ضریب شکست آب $\frac{4}{3}$ است.)

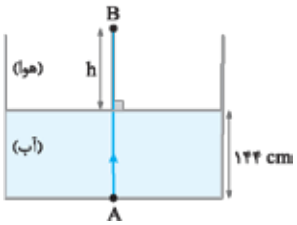
۱) $\frac{7}{6}$ ۲) $\frac{7}{3}$ ۳) $\frac{14}{3}$ ۴) $\frac{21}{16}$

۲۳۵۹- در شکل روبه‌رو، حداقل زمان لازم برای آن‌که نور لامپ پس از گذشتن از هوا، آب و بازتابش از روی آینهٔ تخت افقی که در کف مخزن نصب شده، دوباره به لامپ برگردد، چند ثانیه است؟ $(n_{آب} = \frac{4}{3}, c = 3\times10^8\ m/s)$ (تجربی ■ ۹۳ خارج)



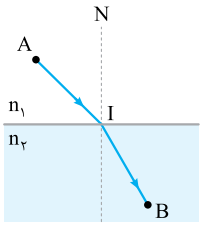
۱) 2×10^{-8}
۲) 5×10^{-8}
۳) 9×10^{-8}
۴) 10^{-7}

۲۳۶۰- مطابق شکل، یک پرتوی نور به صورت قائم از نقطهٔ A در کف ظرف آبی به طرف بالا می‌تابد و به نقطهٔ B در هوا می‌رسد. اگر در مسیر AB، مدت‌زمانی که این پرتو از آب می‌گذرد، با مدت‌زمان عبور آن در هوا برابر باشد، h چند سانتی‌متر است؟ (ضریب شکست آب، $\frac{4}{3}$ برابر ضریب شکست هوا است.)



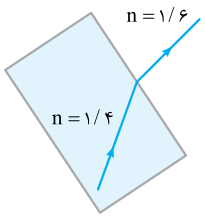
۱) ۸۱ ۲) ۱۰۸ ۳) ۱۹۲ ۴) ۲۵۶

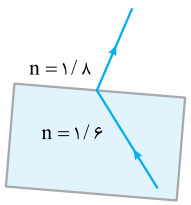
۲۳۶۱- در شکل روبه‌رو، پرتویی از نقطهٔ A در محیطی به ضریب شکست n_1، به نقطهٔ B در محیط دوم که ضریب شکست آن n_2 است، می‌رسد. اگر $AI = IB = L$ بوده و تندی نور در محیط اول برابر v_1 باشد، زمان رسیدن نور از A تا B کدام است؟ (ریاضی ■ ۹۲)

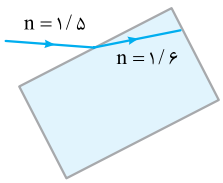


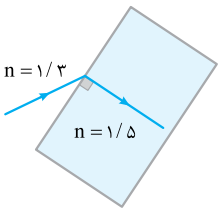
۱) $\frac{L}{v_1}(1+\frac{n_2}{n_1})$ ۲) $\frac{L}{v_1}(1+\frac{n_1}{n_2})$
۳) $\frac{2L}{v_1}(1-\frac{n_2}{n_1})$ ۴) $\frac{2L}{v_1}(1-\frac{n_1}{n_2})$

۲۳۶۲- کدام‌یک از شکل‌های زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟ (کتاب درسی ■)

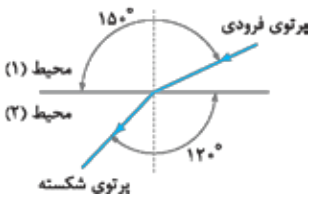
۱) 

۲) 

۳) 

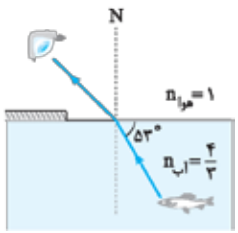
۴) 

۲۳۶۳- مطابق شکل، پرتوی نور فرودی از محیط (۱) به مرز دو محیط برخورد کرده و پس از شکست وارد محیط (۲) می‌شود. با توجه به شکل، تندی نور در محیط (۱)، ..... برابر تندی نور در محیط (۲) بوده و اگر ضریب شکست محیط (۲)، برابر با ۲ باشد، ضریب شکست محیط (۱)، برابر با ..... است.



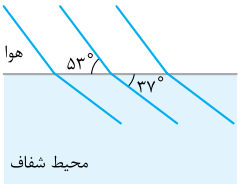
۱) $\sqrt{3}$ ، $2\sqrt{3}$ ۲) $\frac{2\sqrt{3}}{3}$ ، $\sqrt{3}$
۳) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ ، $2\sqrt{3}$ ۴) $\frac{2\sqrt{3}}{3}$ ، $\frac{\sqrt{3}}{3}$

۲۳۶۴- مطابق شکل، پرتوی نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد، تحت زاویهٔ ۵۳° به مرز آب ـ هوا برخورد کرده است. زاویهٔ شکست این پرتو در هوا چند درجه است؟ $(n_{آب} = \frac{4}{3}$ و $\sin37^\circ = 0/6)$ (کتاب درسی ▲)



۱) ۳۰° ۲) ۳۷° ۳) ۴۵° ۴) ۵۳°

۲۳۶۵- شکل مقابل، جبهه‌های موج نور تختی را نشان می‌دهد که از هوا وارد محیط شفافی می‌شود. ضریب شکست این محیط شفاف چه‌قدر است؟ $(\sin 37^\circ = 0/6)$

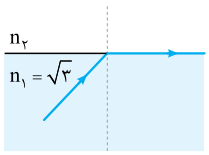


۱) ۲
۲) $\frac{3}{2}$
۳) $\frac{4}{3}$
۴) $\frac{5}{4}$

۲۳۶۶- پرتوی تک‌رنگی با زاویهٔ تابش 53° از هوا به آب می‌تابد. این پرتو در ضمن ورود به آب چند درجه نسبت به راستای اولیهٔ خود منحرف می‌شود؟ $(\sin 53^\circ = 0/8, n_{آب} = \frac{4}{3})$ *(تجربی ▲۹۰ خارج)*

۱) ۱۵
۲) ۱۶
۳) ۳۰
۴) ۳۷

۲۳۶۷- در شکل مقابل، پرتوی نور در ورود از محیط $n_1 = \sqrt{3}$ به محیط n_2، به اندازهٔ 30° درجه منحرف می‌شود. تندی نور در محیط n_2 چند متر بر ثانیه است؟ $(c = 3\times10^8\ m/s)$ *(ریاضی ▲۸۸ خارج، مشابه تجربی ۸۱)*

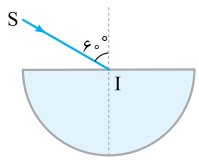


۱) $1/5\times10^8$
۲) $\sqrt{3}\times10^8$
۳) 2×10^8
۴) $\frac{3\sqrt{2}}{2}\times10^8$

۲۳۶۸- پرتوی تک‌رنگی از هوا وارد محیطی به ضریب شکست ۱/۶ می‌شود. اگر زاویهٔ تابش، ۲ برابر زاویهٔ انحراف باشد، زاویهٔ تابش چند درجه بوده است؟ $(\sin 37^\circ = 0/6)$

۱) ۳۰
۲) ۳۷
۳) ۶۰
۴) ۷۴

۲۳۶۹- مطابق شکل، پرتوی تک‌رنگ SI از هوا به مرکز نیم‌استوانهٔ شفافی به ضریب شکست $\sqrt{\frac{3}{2}}$ می‌تابد و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. پرتوی خروجی نسبت به پرتوی SI چند درجه منحرف شده است؟ *(تجربی ▲۷۵)*



۱) صفر
۲) ۱۵
۳) ۳۰
۴) ۴۵

۲۳۷۰- تندی انتشار نور در یک محیط شفاف نیمی از تندی انتشار نور در هوا است. اگر زاویهٔ تابش در هوا را از صفر تا 90° تغییر دهیم، زاویهٔ انحراف در این مایع شفاف حداکثر چند درجه می‌شود؟

۱) ۳۰
۲) ۴۵
۳) ۶۰
۴) ۹۰

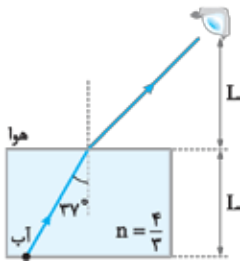
۲۳۷۱- ضریب شکست یک محیط شفاف نسبت به هوا $\sqrt{2}$ است. یک پرتوی نور تک‌رنگ، تحت زاویهٔ i از هوا بر سطح این محیط شفاف می‌تابد و قسمتی از آن بازتابش و قسمتی دیگر شکست پیدا می‌کند. اگر زاویهٔ شکست 30° باشد، زاویهٔ بین پرتوی بازتاب و پرتوی شکست چند درجه است؟ *(ریاضی ▲۹۰ خارج)*

۱) ۷۵
۲) ۹۰
۳) ۱۰۵
۴) ۱۲۰

۲۳۷۲- زاویهٔ تابش یک پرتو چند درجه باشد تا وقتی از هوا به محیطی به ضریب شکست $\sqrt{3}$ وارد می‌شود، پرتوی بازتاب بر پرتوی شکست عمود باشد؟ *(ریاضی ▲۸۶، مشابه ریاضی ۹۱ خارج)*

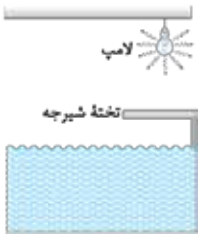
۱) ۳۰
۲) ۳۷
۳) ۴۵
۴) ۶۰

۲۳۷۳- شکل مقابل، مسیری را نشان می‌دهد که در آن یک پرتو از جسمی که در کف آب قرار دارد، به چشم ناظری می‌رسد. مدت‌زمانی که نور در هوا طی می‌کند، چند برابر مدت‌زمانی است که نور در آب حرکت می‌کند تا به چشم شخص برسد؟ $(n_{آب} = \frac{4}{3}$ و $\sin 37^\circ = 0/6)$



۱) $\frac{4}{3}$
۲) $\frac{3}{4}$
۳) $\frac{16}{9}$
۴) ۱

۲۳۷۴- در شکل مقابل، سایهٔ تختهٔ شیرجه در کف استخر، هنگام پربودن استخر در مقایسه با هنگام خالی‌بودن آن چگونه است؟ *(تجربی ■ ۸۷ خارج)*



۱) کوتاه‌تر
۲) بلندتر
۳) برابر هم
۴) بستگی به فاصلهٔ تخته تا سطح آب دارد.

۲۳۷۵- طول یک تیر عمودی که پایهٔ آن در کف یک استخر قرار دارد، ۲/۴ m است که نصف آن از آب بیرون می‌ماند. در لحظه‌ای که آفتاب با زاویهٔ 37° نسبت به افق می‌تابد، طول سایه‌ای که از تیر به کف استخر می‌افتد، چند متر است؟ $(n_{آب} = \frac{4}{3}, \sin 37^\circ = 0/6)$ *(کتاب فیزیک هالیدی ▲)*

۱) ۱/۸
۲) ۲/۴
۳) ۲/۵
۴) ۳/۲

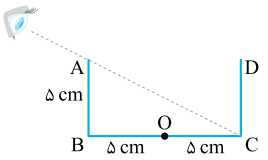
۲۳۷۶- گربه‌ای از هوا به ماهی داخل آب نگاه می‌کند و ماهی هم گربه را می‌بیند. در این صورت گربه، ماهی را ..... از مکان واقعی می‌بیند و ماهی، گربه را ..... از مکان واقعی خود می‌بیند. *(کتاب راهنمای معلم ■)*

۱) دورتر، دورتر
۲) دورتر، نزدیک‌تر
۳) نزدیک‌تر، دورتر
۴) نزدیک‌تر، نزدیک‌تر

۲۳۷۷- میله‌ای به طور مایل تا نیمه در آب فرو رفته است. بیننده‌ای که از هوا به قسمت داخل آب نگاه می‌کند، آن قسمت از میله را چگونه مشاهده می‌کند؟ (ریاضی ■ ۸۶ خارج)

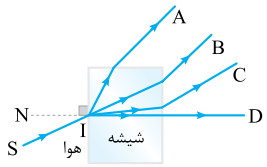
۱) بلندتر و از سطح آب دورتر
۲) کوتاه‌تر و از سطح آب دورتر
۳) کوتاه‌تر و به سطح آب نزدیک‌تر
۴) بلندتر و به سطح آب نزدیک‌تر

۲۳۷۸- مطابق شکل، چشم ناظر در موقعیتی قرار دارد که فقط می‌تواند نقطهٔ C از دیوارهٔ BC را ببیند. اگر ظرف را پر از مایعی به ضریب شکست n کنیم، در این صورت ناظر قادر به دیدن نقطهٔ O در وسط BC می‌شود. n کدام است؟ (اولین المپیاد فیزیک ایران ■)



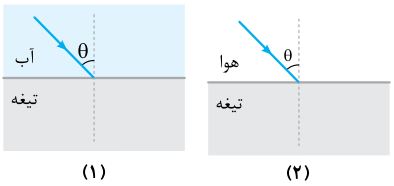
۱) $\frac{۲\sqrt{۱۰}}{۵}$
۲) $\frac{\sqrt{۱۰}}{۴}$
۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۵}$
۴) $\frac{\sqrt{۱۰}}{۲}$

۲۳۷۹- پرتوی نور تک‌رنگ SI، از هوا بر شیشه می‌تابد. پرتوی شکست کدام است؟ (تجربی ■ ۹۰)



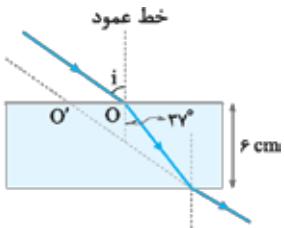
۱) A
۲) B
۳) C
۴) D

۲۳۸۰- مطابق شکل‌های زیر پرتوی نور تک‌رنگی با زاویهٔ تابش یکسان θ در حالت (۱) از آب و در حالت (۲) از هوا به تیغهٔ متوازی‌السطوحی می‌تابد. اگر زاویهٔ شکست پرتو را با θ′ و مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا پرتوی شکست از تیغه خارج شود را با t نشان دهیم، کدام گزینه درست است؟ (زیروندهای ۱ و ۲ مربوط به حالت‌های (۱) و (۲) است و مبدأ زمان را لحظهٔ ورود پرتو به تیغه در نظر بگیرید و $n_{آب} > n_{تیغه}$)



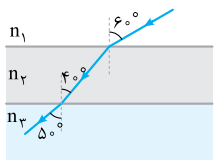
۱) $t_۱ = t_۲ ، \theta'_۱ > \theta'_۲$
۲) $t_۱ = t_۲ ، \theta'_۱ < \theta'_۲$
۳) $t_۱ > t_۲ ، \theta'_۱ > \theta'_۲$
۴) $t_۱ > t_۲ ، \theta'_۱ < \theta'_۲$

۲۳۸۱- پرتوی نوری، مطابق شکل مقابل از هوا به یک تیغهٔ متوازی‌السطوح می‌تابد و پس از شکست در محیط شفاف، دوباره وارد هوا می‌شود. اگر امتداد پرتوی خروجی در O′ به تیغه برخورد کند و $OO' = ۳/۵\ cm$ باشد، ضریب شکست محیط شفاف چه‌قدر است؟ ($\sin ۳۷^\circ = ۰/۶$) (ریاضی ■ ۹۹ خارج)



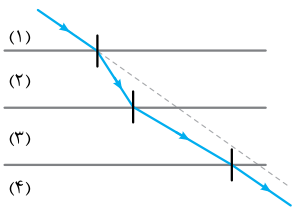
۱) $\frac{۵}{۴}$
۲) $\frac{۴}{۳}$
۳) $\frac{۳}{۲}$
۴) $\frac{۵}{۳}$

۲۳۸۲- در شکل روبه‌رو سطح جدایی محیط‌های شفاف با هم موازی‌اند. کدام رابطه بین ضریب شکست این محیط‌ها برقرار است؟ (تجربی ■ ۸۶)



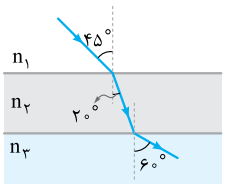
۱) $n_۲ > n_۳ > n_۱$
۲) $n_۳ > n_۲ = n_۱$
۳) $n_۲ = n_۳ > n_۱$
۴) $n_۳ > n_۲ > n_۱$

۲۳۸۳- در شکل مقابل، پرتوی نور از محیط (۱) وارد محیط‌های شفاف (۲)، (۳) و (۴) شده است. کدام رابطه برای سرعت نور در این محیط‌ها درست است؟ (پرتوی خروجی موازی با پرتوی ورودی است.) (تجربی ■ ۱۴۰۱ خارج)



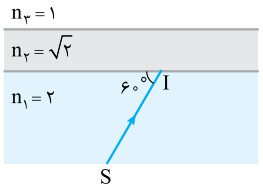
۱) $\frac{v_۱}{v_۳} = \frac{v_۴}{v_۲}$
۲) $\frac{v_۱}{v_۲} = \frac{v_۳}{v_۴}$
۳) $v_۲ < v_۱ = v_۴ < v_۳$
۴) $v_۳ < v_۱ = v_۴ < v_۲$

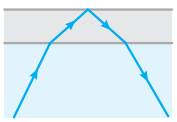
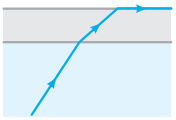
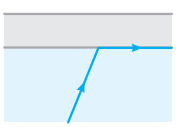
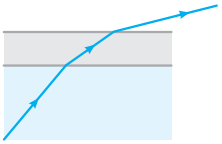
۲۳۸۴- مطابق شکل، پرتوی نوری از محیط شفاف $n_۱$ وارد محیط شفاف $n_۲$ و سپس وارد محیط شفاف $n_۳$ می‌شود. تندی نور در محیط $n_۳$ چند برابر تندی نور در محیط $n_۱$ است؟ (تجربی ■ ۹۶)



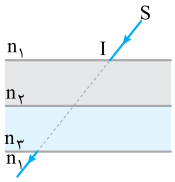
۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$
۲) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$
۳) $\sqrt{\frac{۳}{۲}}$
۴) $\sqrt{\frac{۲}{۳}}$

۲۳۸۵- در شکل مقابل، با توجه به ضریب شکست محیط‌های شفاف، مسیر پرتوی تک‌رنگ SI به کدام صورت است؟



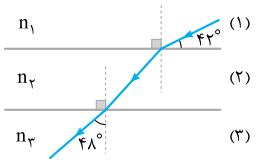
۱) 
۲) 
۳) 
۴) 

۲۳۸۶- در شکل مقابل پرتوی SI پس از عبور از محیط‌های شفاف n_2 و n_3، دوباره به محیط شفاف n_1 برمی‌گردد. اگر راستای پرتو پس از عبور از این دو محیط تغییر نکند، n_2 و n_3 در مقایسه با n_1 چگونه باید باشند؟ (ریاضی ▲ ۶۵)



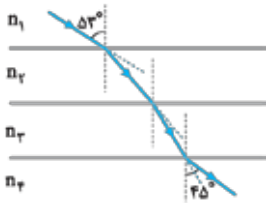
۱) هر دو بزرگ‌تر
۲) هر دو کوچک‌تر
۳) یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر
۴) الزاماً ضریب شکست هر سه محیط برابر است.

۲۳۸۷- مطابق شکل روبه‌رو، یک پرتوی نور از محیط شفاف (۱) وارد محیط‌های شفاف (۲) و (۳) می‌شود. اگر تندی نور در محیط (۱) برابر با $2/5\times10^8\ m/s$ و ضریب شکست محیط (۲)، ۲۵ درصد بیشتر از ضریب شکست محیط (۳) باشد، تندی نور در محیط (۲) به اندازهٔ ..... کیلومتر بر ثانیه ..... از تندی آن در محیط (۱) است.



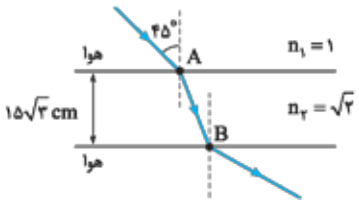
۱) 5×10^4، بیشتر
۲) 5×10^4، کم‌تر
۳) 4×10^5، بیشتر
۴) 4×10^5، کم‌تر

۲۳۸۸- مطابق شکل مقابل پرتوی نوری از محیط شفاف (۱) وارد محیط‌های شفاف دیگر می‌شود. اگر تندی نور در محیط (۲)، ۲۵ درصد کم‌تر از تندی نور در محیط (۱) باشد و تندی نور در محیط (۴)، ۴۰ درصد بیشتر از تندی نور در محیط (۳) باشد، ضریب شکست محیط (۲) چند برابر ضریب شکست محیط (۳) است؟ $(\sin53^\circ=0/8, \sin45^\circ=0/7)$ (ریاضی ■ ۹۸)



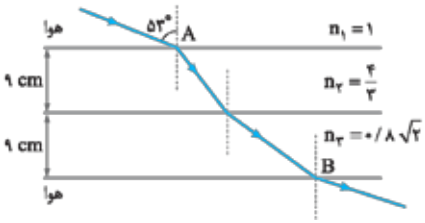
۱) $\frac{4}{3}$
۲) $\frac{6}{5}$
۳) $\frac{3}{4}$
۴) $\frac{5}{6}$

۲۳۸۹- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری از هوا وارد محیط شفافی می‌شود و شکست می‌یابد. این پرتو فاصلهٔ A تا B را در چند نانوثانیه طی می‌کند؟ $(c=3\times10^8\ m/s)$ (ریاضی ■ ۱۴۰۰)



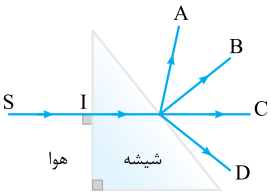
۱) $\frac{\sqrt{2}}{2}$
۲) ۱
۳) $\sqrt{2}$
۴) ۳

۲۳۹۰- پرتوی نوری مطابق شکل مقابل، از هوا وارد محیط‌های شفافی می‌شود و شکست می‌یابد. این پرتو فاصلهٔ A تا B را در چند نانوثانیه طی می‌کند؟ $(c=3\times10^8\ m/s)$ تندی نور در هوا، $(\sin37^\circ=0/6)$ (تجربی ■ ۹۹)



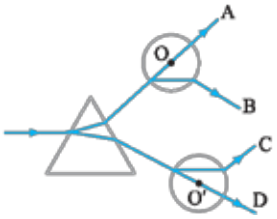
۱) ۰/۶
۲) ۹۶
۳) ۹۸
۴) ۹/۶

۲۳۹۱- در شکل مقابل، پرتوی خروجی از منشور مطابق کدام می‌تواند باشد؟



۱) A
۲) B
۳) C
۴) D

۲۳۹۲- شکل روبه‌رو یک منشور و دو کرهٔ شیشه‌ای توپر به مراکز O' و O را نشان می‌دهد که در خلأ فرض شده‌اند. یک پرتوی نور تک‌رنگ بر منشور تابیده است. کدام‌یک از این مسیرها عبور نور را درست نشان می‌دهد؟ (ریاضی ■ ۹۲ خارج)



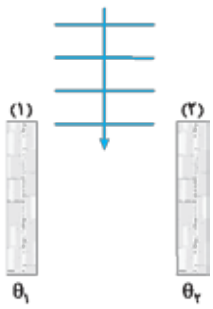
۱) A
۲) B
۳) C
۴) D

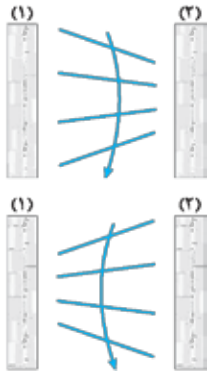
(کتاب درسی ■)

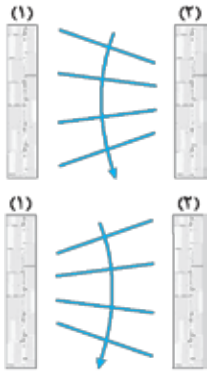
۲۳۹۳- کدام عبارت دربارهٔ پدیدهٔ سراب، نادرست است؟

۱) پرتوهای نور هر چه بیشتر به سطح زمین نسبتاً داغ نزدیک می‌شوند، بیشتر به سمت افق خم می‌شوند.
۲) با افزایش دما، چگالی و در نتیجه ضریب شکست هوا کاهش می‌یابد.
۳) تندی جبهه‌های موج در نزدیکی سطح زمین نسبتاً داغ بیش از تندی جبهه‌های موج در بالای سطح زمین است.
۴) سراب را تنها می‌توان دید، ولی نمی‌توان از آن عکس گرفت.

۲۳۹۴- شکل زیر، نمای بالا از سالن بزرگی با دیوارهای قائم بلند (۱) و (۲) را نشان می‌دهد که به ترتیب در دماهای $\theta_1 = 10\ ^\circ C$ و $\theta_2 = 40\ ^\circ C$ ثابت نگه داشته می‌شود. اگر مطابق شکل، دسته‌ای از جبهه‌های تخت نور از بین دیوارها وارد سالن شوند، شکل جبهه‌های موج به همراه یک پرتوی آن‌ها در سالن به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ (از اثر پراش در لبهٔ دیوارها چشم‌پوشی کنید.)



۱)


۲)


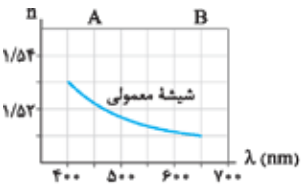
۳)

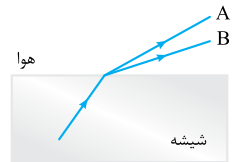
۴)

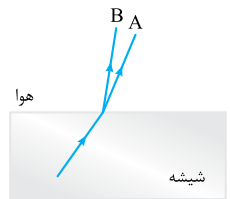
۲۳۹۵- در پاشندگی نور در منشور، کدام رابطه بین ضریب شکست شیشه برای نور قرمز (n_r) و نور بنفش (n_v) و تندی نور قرمز (v_r) و نور بنفش (v_v) در شیشه درست است؟ *(تجربی ▲۷۹)*

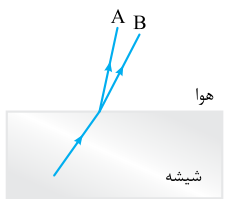
۱) $v_r > v_v \, , n_r > n_v$
۲) $v_r < v_v \, , n_r > n_v$
۳) $v_r > v_v \, , n_r < n_v$
۴) $v_r < v_v \, , n_r < n_v$

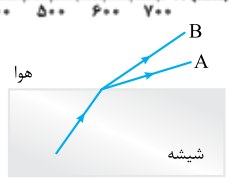
۲۳۹۶- شکل روبه‌رو، نمودار تغییرات ضریب شکست برحسب طول موج در طیف نور مرئی در شیشهٔ معمولی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، کدام گزینهٔ زیر از لحاظ فیزیکی می‌تواند مدل کیفی پرتوی فرودی شامل نورهای A و B را نشان دهد که از شیشه وارد هوا می‌شوند؟



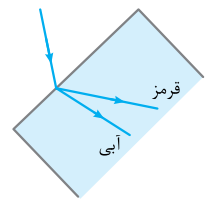
۱)


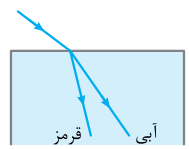
۲)


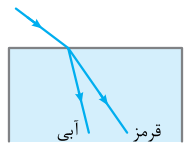
۳)


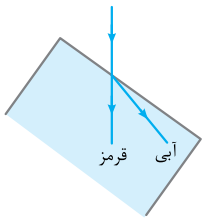
۴)


۲۳۹۷- در شکل زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای آبی و قرمز است، از هوا وارد شیشه می‌شود. کدام شکل، شکستی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟ *(ریاضی ■۱۴۰۱، مشابه ریاضی ۹۸)*

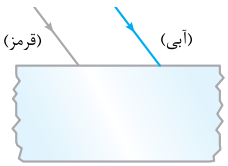
۱)


۲)


۳)


۴)


۲۳۹۸- در شکل مقابل، دو پرتوی موازی قرمزرنگ و آبی‌رنگ به یک تیغهٔ متوازی‌السطوح می‌تابند. این دو پرتو در درون تیغه و پس از خارج‌شدن از تیغه به ترتیب از راست به چپ چه وضعیتی نسبت به هم دارند؟



۱) همگرا، موازی
۲) همگرا، واگرا
۳) واگرا، موازی
۴) واگرا، همگرا

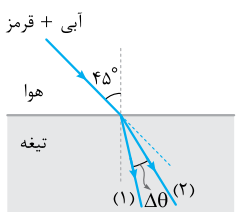
۲۳۹۹- باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی سبز و زرد را به منشور می‌تابانیم. در داخل منشور زاویهٔ شکست پرتوی ..... بزرگ‌تر و میزان انحراف پرتوی ..... بیشتر است.

۱) سبز، سبز
۲) زرد، سبز
۳) زرد، زرد
۴) سبز، زرد

۲۴۰۰- دو لامپ بسیار نزدیک به هم با رنگ‌های بنفش و قرمز در حالت اول در عمق یکسانی از آب و در حالت دوم در ارتفاع یکسانی از هوا قرار دارند. در حالت اول خارج از سطح آب و در حالت دوم از داخل آب به این لامپ‌ها نگاه می‌کنیم. به ترتیب از راست به چپ کدام لامپ را در حالت اول در عمق بیشتر و در حالت دوم در ارتفاع بیشتر می‌بینیم؟

۱) بنفش، قرمز
۲) قرمز، قرمز
۳) قرمز، بنفش
۴) بنفش، بنفش

۲۴۰۱- مطابق شکل مقابل، باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی قرمز و آبی از هوا با زاویهٔ تابش 45° بر سطح تیغهٔ تختی می‌تابد. اگر ضریب شکست تیغه برای این پرتوها به ترتیب برابر $\frac{5\sqrt{2}}{6}$ و $\sqrt{2}$ باشد، به ترتیب پرتوی قرمز کدام است و زاویهٔ بین دو پرتوی شکست درون تیغه $(\Delta\theta)$ برابر چند درجه است؟ $(\sin 53^\circ = 0/8 , \sin 37^\circ = 0/6)$ *(کتاب درسی ▲)*

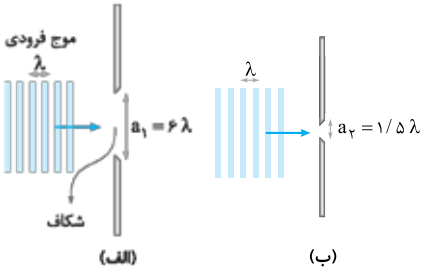


۱) (۱)، 7°
۲) (۲)، 16°
۳) (۱)، 16°
۴) (۲)، 7°

۲۴۰۲- تحلیل نقش پراش، مبتنی بر کدام مبحث در علم فیزیک است؟ *(ریاضی ■۱۴۰۱ خارج، برگرفته از کتاب درسی)*

۱) تشدید
۲) بازتاب موج
۳) شکست موج
۴) تداخل امواج

۲۴۰۳- شکل‌های مقابل، وضعیت طرح‌واری را نشان می‌دهد که در آن موجی تخت به موانعی می‌رسد که پهنای شکاف‌های آن‌ها a_1 و a_2 است. در شکل ..... نور بیشتر خم شده و به اطراف گسترده می‌شود و به این پدیده ..... می‌گویند. *(کتاب درسی ■)*



۱) (الف)، شکست
۲) (الف)، پراش
۳) (ب)، شکست
۴) (ب)، پراش

۲۴۰۴- کدام عبارت دربارهٔ پراش نادرست است؟

۱) برای شکافی با ابعاد معین، پراش امواج رادیویی AM بارزتر از پراش امواج رادیویی FM است.
۲) پراش در صورتی نمایان‌تر است که ابعاد مانع یا شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول موج باشد.
۳) پراش برای همهٔ انواع امواج، از جمله موج‌های الکترومغناطیسی و صوتی رخ می‌دهد.
۴) در یک محیط معین، طول موجِ موج فرودی پس از پراشیده‌شدن از یک شکاف تغییر نمی‌کند.

۲۴۰۵- در تلویزیون‌های متداول سیگنال‌ها از آنتن‌های روی دکل‌ها به گیرنده‌های تلویزیون فرستاده می‌شود. بسامد سیگنال‌های تلویزیونی دیجیتالی که امروزه از آنتن‌ها فرستاده می‌شود، بسیار بیشتر از بسامد سیگنال‌هایی است که در گذشته از آنتن‌ها فرستاده می‌شد. بنابراین امروزه به دلیل ..... پراش سیگنال‌ها در ناحیهٔ سایه، امکان دریافت سیگنال توسط گیرنده‌ای که در معرض ارسال مستقیم امواج نیست، ..... یافته است. *(کتاب درسی ■)*

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

۲۴۰۶- گوشی‌های تلفن همراه با امواج رادیویی با بسامد حدود ۲ GHz کار می‌کنند. حداکثر ابعاد مانعی که سبب پراشیده‌شدن بارز این امواج شود، در چه حدودی است؟ ($c = 3\times10^8$ m/s) *(کتاب درسی ■)*

۱) ۱/۵ cm
۲) ۱۵ cm
۳) ۱/۵ m
۴) ۱۵ m

۲۴۰۷- آزمایش پراش را جداگانه برای دو موج تخت یکی با نور بنفش به طول موج ۴۰۰ nm و دیگری با نور نارنجی به طول موج ۶۰۰ nm انجام می‌دهیم. اگر برای هر نور از دو شکاف a و a′ به ترتیب با پهناهای ۰/۹ میکرون و ۱/۸ میکرون استفاده کنیم، نقش پراش در کدام آزمایش بارزتر می‌شود؟

۱) با نور بنفش و شکاف a
۲) با نور بنفش و شکاف a′
۳) با نور نارنجی و شکاف a
۴) با نور نارنجی و شکاف a′

۲۴۰۸- در هوا و در آزمایش (الف) پرتوهای نور تک‌رنگ از شکافی با پهنای a و در آزمایش (ب) امواج صوتی از شکافی با پهنای a′ عبور کرده و پدیدهٔ پراش در هر دو آزمایش رخ می‌دهد. اگر این آزمایش‌ها را بدون تغییر در بقیهٔ عوامل، در آب انجام دهیم، وضوح پدیدهٔ پراش در آزمایش‌های (الف) و (ب) نسبت به حالت قبل (در هوا) چگونه خواهد بود؟ (به ترتیب از راست به چپ)

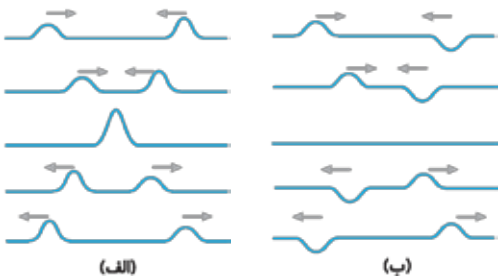
۱) بیشتر، کم‌تر
۲) کم‌تر، کم‌تر
۳) کم‌تر، بیشتر
۴) بیشتر، بیشتر

درس ۳ تداخل امواج

اصل برهم‌نهی امواج

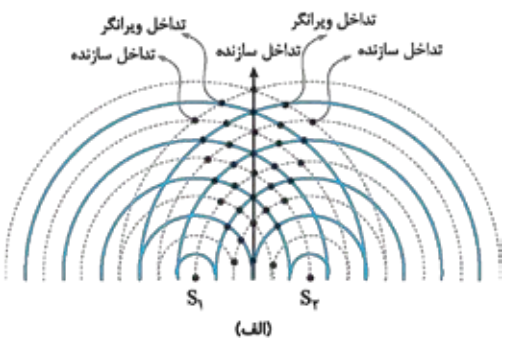
اگر دو یا چند موج به طور هم‌زمان به نقطه‌ای از فضا برسند، اثر خالص آن‌ها برابر مجموع اثرهایی است که هر کدام از موج‌ها به تنهایی بر آن نقطه می‌گذارند.

تداخل امواج: وقتی دو موج به طور هم‌زمان به یک نقطه می‌رسند، با یکدیگر ترکیب می‌شوند و اصطلاحاً با هم **تداخل** می‌کنند. در حالتی که جابه‌جایی‌های حاصل از دو موج در یک نقطه هم‌جهت‌اند (شکل الف) تداخل دو موج «**سازنده**» و در حالتی که جابه‌جایی‌های حاصل از دو موج در یک نقطه در خلاف جهت یکدیگرند (شکل ب)، تداخل دو موج «**ویرانگر**» است.



تداخل امواج سطحی آب

در شکل (الف) دو چشمهٔ موج هم‌بسامد S_1 و S_2 به طور هم‌زمان بر سطح آب فرود می‌آیند و امواج مشابهی را بر سطح آب ایجاد می‌کنند. (برآمدگی‌های حاصل از هر چشمه را با دایره‌های توپر و فرورفتگی‌های حاصل از هر چشمه را با دایره‌های خط‌چین نشان داده‌ایم.) دو موج در نقاطی که محل تلاقی هم‌زمان دو برآمدگی یا دو فرورفتگی هستند، به طور سازنده تداخل می‌کنند و آن نقاط با دامنهٔ قابل توجهی نوسان می‌کنند. دو موج در نقاطی که یک برآمدگی و یک فرورفتگی به طور هم‌زمان می‌رسند، تداخل ویرانگر دارند و این نقاط یا نوسان نمی‌کنند یا نوسان قابل ملاحظه‌ای ندارند. شکل (ب) مکان هندسی نقاطی را نشان می‌دهد که با بیشترین و کم‌ترین دامنه نوسان می‌کنند.



۲۳۰۲- 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: $\lambda'_2 < \lambda_2 < \lambda_s < \lambda_1 < \lambda'_1 \xrightarrow{\text{بدون نوشتن } \lambda_s} \lambda'_2 < \lambda_2 < \lambda_1 < \lambda'_1$

۲۳۰۳- 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:

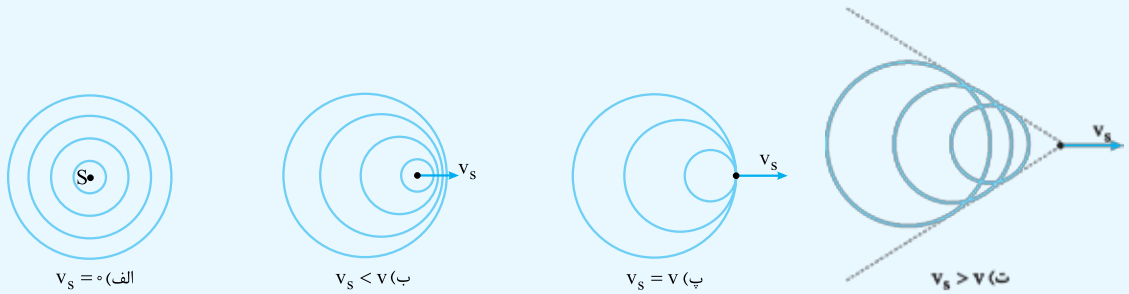
$$\begin{cases} (v'_1 = 2v_1) > v_1 \Rightarrow f_1 < f'_1 \\ (v'_2 = 2v_2) > v_2 \Rightarrow f'_2 < f_2 \end{cases} \Rightarrow f'_2 < f_2 < f_s < f_1 < f'_1 \xrightarrow{\text{بدون نوشتن } f_s} f'_2 < f_2 < f_1 < f'_1$$

۲۳۰۴- 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.

۲۳۰۵- گزینهٔ ۱ جواب تست را با خواندن نکتهٔ آموزشی زیر تشخیص دهید.

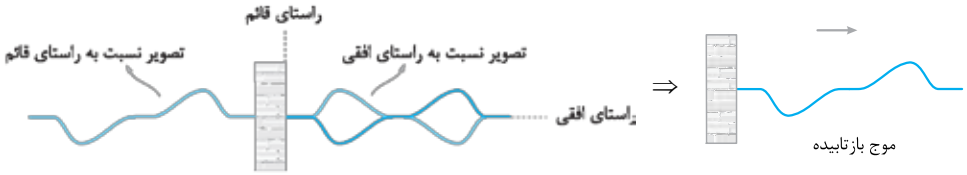
نکته اگر چشمهٔ موج ساکن باشد $(v_s = 0)$، جبهه‌های موج به صورت دایره‌های هم‌مرکز خواهند بود (شکل الف) و طول موج در همه‌جا یکسان است. اما اگر چشمه با سرعتی کم‌تر از سرعت انتشار موج حرکت کند، $(v_s < v)$ جبهه‌های موج به صورت دایره‌هایی هستند که مرکزشان در حال حرکت است. جهت حرکت مرکز این دایره‌ها همان جهت 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)



۲۳۰۶- گزینهٔ ۱ پدیدهٔ دوپلر تنها برای موج‌های صوتی رخ نمی‌دهد و برای موج‌های الکترومغناطیسی هم رخ می‌دهد. می‌دانیم وقتی چشمهٔ نور (ستاره) از ناظر دور شود، طول موج افزایش می‌یابد که به آن اصطلاحاً **انتقال به سرخ** می‌گویند و وقتی چشمهٔ نور (ستاره) به ناظر نزدیک می‌شود، طول موج کاهش پیدا می‌کند که به آن اصطلاحاً **انتقال به آبی** می‌گویند. در این سؤال چون ستاره با سرعت بسیار زیاد از زمین دور می‌شود، طول موج نوری که از آن دریافت می‌کنیم افزایش می‌یابد، در نتیجه بسامد نور کاهش می‌یابد و بنابراین ستاره را به رنگ **قرمز** می‌بینیم.

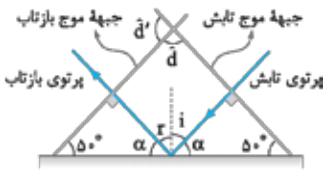
امروزه می‌دانیم تفاوت رنگ ستاره‌های نزدیک ناشی از علل درونی و دمای آن‌ها است و انتقال دوپلر آن‌ها آن‌چنان کوچک است که با چشم درک نمی‌شود. با این وجود، همهٔ کهکشان‌های دور انتقال دوپلر قابل توجهی به بسامدهای پایین (انتقال به سرخ) را نشان می‌دهند که مؤید نظریهٔ انبساط جهان است.

۲۳۰۷- گزینهٔ ۱ مطابق شکل زیر تصویر موج عرضی را ابتدا نسبت به راستای افقی و سپس نسبت به راستای قائم رسم می‌کنیم.



۲۳۰۸- گزینهٔ ۴ *بدون شرح!*

۲۳۰۹- گزینهٔ ۳ **گام اول** به شکل روبه‌رو توجه کنید. زاویهٔ تابش یا زاویهٔ بازتاب برابر زاویه‌ای است که جبهه‌های موج با مانع می‌سازند.

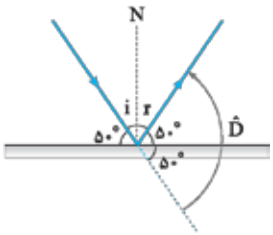


$$\begin{cases} i+\alpha=90^\circ \\ 50^\circ+\alpha=90^\circ \end{cases} \Rightarrow i=50^\circ \xrightarrow{r=i} r=50^\circ$$

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.

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

۲۳۱۰- 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.

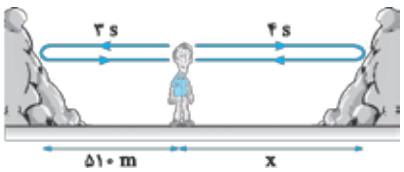
$$\hat{D}=2\times50^\circ=100^\circ$$

۲۳۱۱- 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.

۲۳۱۲- 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:

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

۲۳۱۳- 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:

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

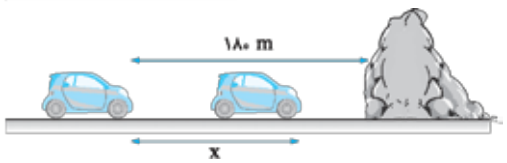
۲۳۱۴- گزینهٔ ۲ **گام اول** تندی انتشار صوت برابر است با:

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

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:

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

۲۳۱۵- 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 $(180-x)$ 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')

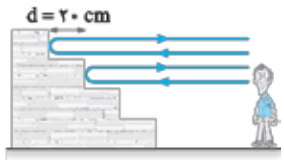


$$\begin{cases} \text{صوت}: 180+(180-x)=v\times t \\ \text{اتومبیل}: x=v'\times t \end{cases} \Rightarrow \frac{360-x}{x}=\frac{v}{v'}\times\frac{t}{t} \xrightarrow{v'=108\frac{km}{h}=30m/s} \frac{360-x}{x}=\frac{330}{30}\times1 \Rightarrow x=30\ m$$

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

$$x=v't \Rightarrow 30=30t \Rightarrow t=1\ s$$

۲۳۱۶- گزینهٔ ۳ **گام اول** ابتدا مدت‌زمان بین دو پژواک متوالی را به دست می‌آوریم. مطابق شکل مقابل 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 زیر به دست می‌آید:



$$2d=v_{صوت}\Delta t \Rightarrow 2\times0/2=340\times\Delta t \Rightarrow \Delta t=\frac{4}{3400}\ s$$

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

گام دوم حالا با استفاده از یک تناسب ساده تعداد پژواک‌هایی که در مدت $1\ s$ به گوش شخص می‌رسد را به دست می‌آوریم:

تعداد پژواک	مدت‌زمان(s)
۱	$\frac{4}{3400}$
n	۱

$$\Rightarrow n=\frac{1\times1}{\frac{4}{3400}}=\frac{3400}{4}=850$$

اولین پژواک، حاصل بازتاب صوت از پایین‌ترین پله است. با توجه به تندی صوت $(340\,m/s)$ اگر فاصلهٔ شخص از اولین پله برابر یا بیشتر از $17\,m$ باشد صدای اولین پژواک را تشخیص می‌دهد و اگر کم‌تر از $17\,m$ باشد، این صدا را تشخیص نمی‌دهد.

تمرین **الف) اگر فاصلهٔ شخص از پایین‌ترین پله برابر $13/6\,m$ باشد، اولین پژواک چند ثانیه پس از دست‌زدن شخص، به گوش او می‌رسد؟** $0/08\,s$

ب) اولین پژواکی که شخص تشخیص می‌دهد، چند ثانیه پس از دست‌زدن است و این پژواک مربوط به چندمین بازتاب است؟ $0/1\,s$، ۱۷

۲۳۱۷- 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:

$$x=vt \Rightarrow t=\frac{x}{v} \xrightarrow{x=2L} t=\frac{2L}{v} \Rightarrow t=\frac{2\times 150}{1500} \Rightarrow t=0/2\,s$$

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

$$\lambda=\frac{v}{f} \Rightarrow \lambda=\frac{1500}{100\times 10^3} \Rightarrow \lambda=1/5\times 10^{-2}\,m \Rightarrow \lambda=1/5\,cm$$

۲۳۱۸- 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.

۲۳۱۹- گزینهٔ ۱ در دستگاه سونار در کشتی‌ها و سونوگرافی، از بازتاب امواج صوتی (و فراصوتی) که جزء امواج مکانیکی‌اند، برای مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود. هم‌چنین در رادار دوپلری، اجاق خورشیدی و آنتن بشقابی از بازتاب امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود.

۲۳۲۰- 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.

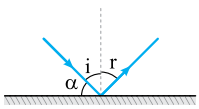
۲) درست؛ به علت بازتاب پخشنده، پرتوهای بازتاب در جهت‌های مختلف پراکنده می‌شوند و ناظرهای مختلف (از زوایای مختلف) می‌توانند نقطهٔ رنگی را ببینند.

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.

۲۳۲۱- گزینهٔ ۳ طول موج نور مرئی در حدود $0/5\,\mu m$ است، بنابراین با توجه به این‌که ابعاد ناهمواری‌های سطح کاغذ $(0/02\,mm=20\,\mu m)$ بسیار بزرگ‌تر از طول موج نور مرئی است. بازتاب از سطح کاغذ، نامنظم (پخشنده) خواهد بود. از طرفی ابعاد ناهمواری‌های سطح آینه $(0/02\,\mu m)$ است که بسیار کوچک‌تر از طول موج نور مرئی است بنابراین بازتاب از سطح آینه منظم خواهد بود.

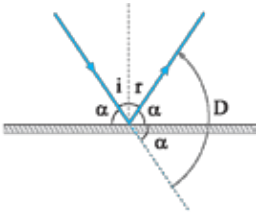
۲۳۲۲- گزینهٔ ۱ اگر شکل ساده‌ای رسم کنیم، خواهیم داشت:



$$i+r=\frac{1}{4}\alpha \xrightarrow{i=r} \alpha=8i$$

$$\alpha+i=90^\circ \xrightarrow{\alpha=8i} 8i+i=90^\circ \Rightarrow i=10^\circ$$

۲۳۲۳- گزینهٔ ۴ براساس فرض تست $D=6r$ است.



$$D=2\alpha \Rightarrow 6r=2\alpha \Rightarrow \alpha=3r$$

$$r+\alpha=90^\circ \Rightarrow r+3r=90^\circ \Rightarrow 4r=90^\circ \Rightarrow r=22/5^\circ$$

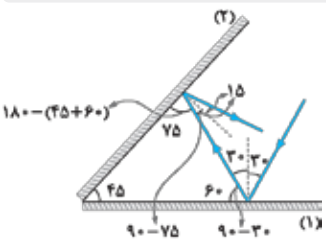
$$i=r \Rightarrow i=22/5^\circ$$

۲۳۲۴- گزینهٔ ۱ چون زاویهٔ بین پرتوهای تابش و بازتاب بزرگ‌تر شده است، بنابراین با دوران آینه به اندازهٔ 30°، زاویهٔ تابش از i به $i+30^\circ$ و زاویهٔ بازتاب از r به $r+30^\circ$ می‌رسد و داریم:

$$(i+30^\circ)+(r+30^\circ)=4(i+r) \xrightarrow{i=r} 2i+60^\circ=8i \Rightarrow 6i=60^\circ \Rightarrow i=10^\circ$$

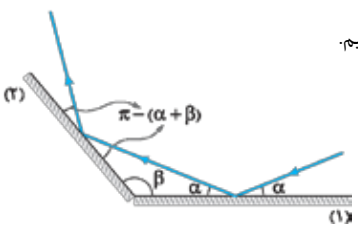
تمرین **با دوران ۳۰ درجه‌ای آینه، پرتوی بازتاب نسبت به راستای اولیه چند درجه دوران می‌کند؟** 60°

۲۳۲۵- 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:



$$\hat{r}_2=15^\circ$$

۲۳۲۶- گزینهٔ ۴ ادامهٔ مسیر پرتو را مطابق شکل مقابل رسم کرده و زوایا را مرحله به مرحله تعیین می‌کنیم.



۲۳۲۷- گزینهٔ ۴ **گام اول** مجموع زوایای داخلی مثلث شکل روبه‌رو برابر 180° است، پس:

$$125^\circ+(90^\circ-\theta_1)+(90^\circ-\theta_2)=180^\circ \Rightarrow 125^\circ-(\theta_2+\theta_1)=0 \Rightarrow \theta_2+\theta_1=125^\circ$$

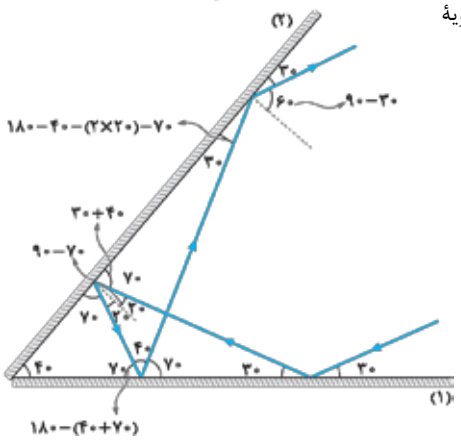
گام دوم θ_1 به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases}\theta_2+\theta_1=125^\circ\\ \theta_2-\theta_1=15^\circ\end{cases} \Rightarrow 2\theta_2=140 \Rightarrow \theta_2=70^\circ \ , \ \theta_1=55^\circ$$

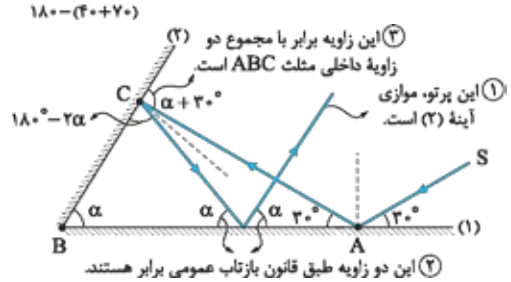
α را می‌خواهیم؛ بنابراین:

$$\alpha=90^\circ-\theta_1=90^\circ-55^\circ=35^\circ$$

۲۳۲۸- 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.



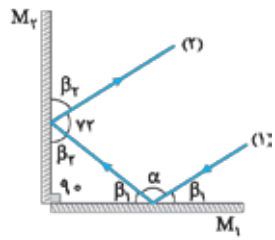
۲۳۲۹- گزینهٔ ۳ با توجه به این‌که پرتوی نور در دومین بازتاب از آینهٔ (۱)، موازی آینهٔ (۲) است، مطابق شکل روبه‌رو، زوایا را مرحله‌به‌مرحله تعیین می‌کنیم.



دو زاویهٔ $180^\circ-2\alpha$ و $\alpha+30^\circ$ باید با هم برابر باشند؛ بنابراین:

$$180^\circ-2\alpha=\alpha+30^\circ \Rightarrow 3\alpha=150^\circ \Rightarrow \alpha=50^\circ$$

۲۳۳۰- گزینهٔ ۳ **گام اول** زوایا را مرحله به مرحله به دست می‌آوریم:



$$2\beta_2+72^\circ=180^\circ \Rightarrow \beta_2=54^\circ$$

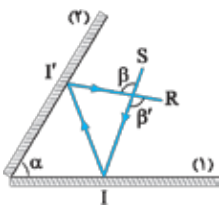
$$\beta_1+\beta_2+90^\circ=180^\circ \Rightarrow \beta_1+144^\circ=180^\circ \Rightarrow \beta_1=36^\circ$$

$$2\beta_1+\alpha=180^\circ \Rightarrow 2\times36^\circ+\alpha=180^\circ \Rightarrow \alpha=108^\circ$$

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 180° خواهد بود.

$$\hat{D}=180^\circ$$

۲۳۳۱- 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:

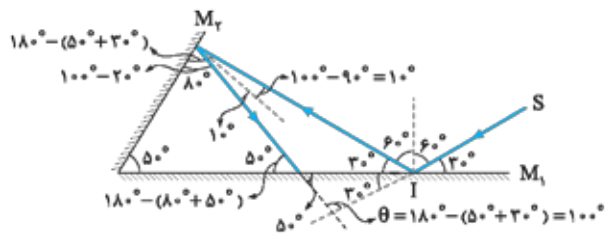


$$\beta'=2\alpha$$

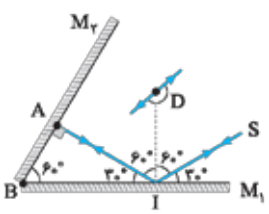
از طرفی زاویه‌های β و β' متقابل به رأس هستند، پس می‌توان نوشت:

$$\beta=\beta' \xrightarrow{\beta'=2\alpha} \beta=2\alpha$$

۲۳۳۲- گزینهٔ ۳ مطابق شکل روبه‌رو ادامهٔ مسیر پرتوی SI را رسم کرده و زوایا را مرحله‌به‌مرحله محاسبه می‌کنیم تا خواستهٔ تست (زاویهٔ θ) به دست آید:



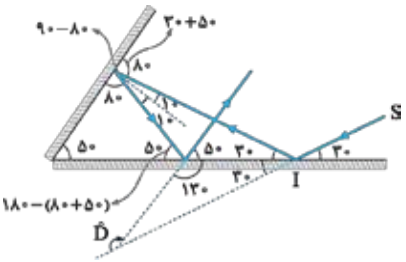
۲۳۳۳- گزینهٔ ۳ اگر مطابق شکل مقابل ادامهٔ مسیر پرتوی SI پس از بازتاب از آینه‌ها را رسم کنیم، متوجه می‌شوید که پرتو پس از بازتاب از آینهٔ (۲) بر روی خودش منطبق می‌شود. بنابراین اگر پرتوهای ورودی و خروجی را از یک نقطه رسم کنیم، زاویهٔ انحراف مطابق شکل برابر $D=180^\circ$ می‌شود.



⚠ اگر زاویهٔ بین دو آینهٔ متقاطع کم‌تر از 90° باشد، نمی‌توان همواره از رابطهٔ $\hat{D}=2\theta$ استفاده کرد.

نکته اگر زاویهٔ بین دو آینهٔ متقاطع، حاده (کم‌تر از 90°) باشد و پرتوی تابش به یکی از آینه‌ها بتابد، تعداد بازتاب از هر یک از آینه‌ها و زاویهٔ انحراف پرتوی خروجی از مجموعه نسبت به پرتوی تابش اولیه را باید با استفاده از زاویهٔ تابش اولیه و محاسبهٔ مرحله به مرحلهٔ زوایا تعیین کرد.

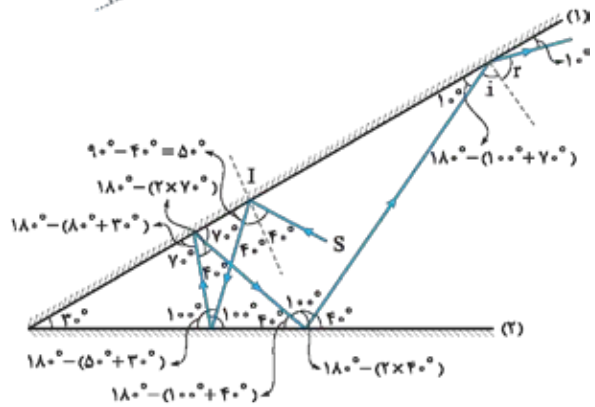
۲۳۳۴- گزینهٔ ۳ مطابق شکل مقابل ادامهٔ مسیر پرتو را رسم کرده و زوایا را مرحله به مرحله تعیین می‌کنیم:



بنابراین:

$$\hat{D} = 30^\circ + 130^\circ = 160^\circ$$

۲۳۳۵- گزینهٔ ۴ در شکل روبه‌رو مسیر پرتو را دنبال کنید تا از نحوهٔ محاسبهٔ زاویه‌ها مطلع شوید. زاویهٔ تابش پرتو در آخرین برخورد بر آینهٔ (۱) برابر است با:



$$i = 90^\circ - 10^\circ = 80^\circ$$

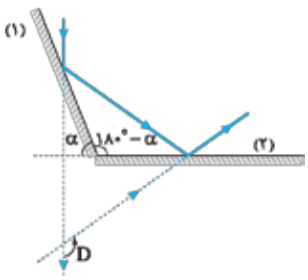
زاویهٔ بازتابش از آینه نیز همین مقدار است: $r = i = 80^\circ$

۲۳۳۶- گزینهٔ ۳ زاویهٔ 100° که در شکل نشان داده زاویهٔ انحراف پرتو است. با توجه به این‌که زاویهٔ بین دو آینه بزرگ‌تر از 90° است $(\alpha > 90^\circ)$ داریم:

$$\hat{D} = 100^\circ \xrightarrow{\hat{D}=360-2\alpha} 100 = 360 - 2\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{260}{2} = 130^\circ$$

نکته هرگاه دو آینهٔ متقاطع با هم زاویهٔ منفرجه $(\theta > 90^\circ)$ 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 $D = 360 - 2\theta$ به دست می‌آید.

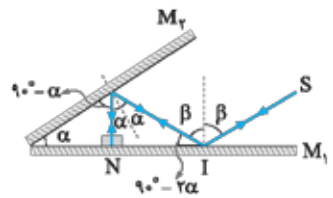
۲۳۳۷- گزینهٔ ۲ زاویهٔ بین دو آینه، منفرجه و برابر $\gamma = 180^\circ - \alpha$ است، پس زاویهٔ بین پرتو ورودی و پرتو خروجی برابر $D = 360^\circ - 2\gamma$ است و داریم:



$$D = 360^\circ - 2(180^\circ - \alpha) \Rightarrow D = 2\alpha$$

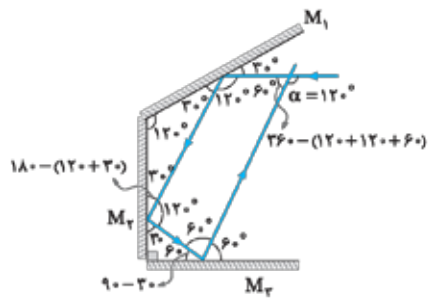
۲۳۳۸- گزینهٔ ۴ زاویهٔ γ که در شکل نشان داده شده است، زاویهٔ انحراف پرتوی SI است. اگر زاویهٔ بین دو آینه بیشتر از 90° باشد $(\alpha > 90^\circ)$، زاویهٔ انحراف از رابطهٔ $\gamma = 360 - 2\alpha$ به دست می‌آید. بنابراین زاویهٔ انحراف پرتو (γ) به **زاویهٔ تابش بستگی ندارد** و با تغییر آن، **ثابت** می‌ماند.

۲۳۳۹- گزینهٔ ۳ برای این‌که پرتو روی خودش بازتاب شود، لازم است پرتو در نقطهٔ N بر سطح آینهٔ M_1 عمود باشد. حالا زاویه‌ها را برحسب α و β روی شکل مشخص می‌کنیم. در نقطهٔ I، مجموع دو زاویهٔ β و $(90^\circ - 2\alpha)$ یک زاویهٔ قائمه ساخته‌اند، پس داریم:



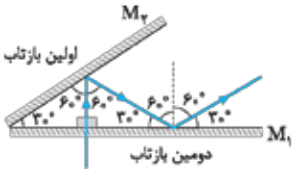
$$\beta + (90^\circ - 2\alpha) = 90^\circ \Rightarrow \beta = 2\alpha$$

۲۳۴۰- گزینهٔ ۲ مطابق شکل، پرتو با زاویهٔ 30° نسبت به آینهٔ M_1 به آن تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. در ادامه با توجه به این‌که مجموع زوایای داخلی هر مثلثی برابر 180° است، پرتو با زاویهٔ 30° نسبت به آینهٔ M_2 تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. مجموع زوایای داخلی مثلث قائم‌الزاویه هم برابر 180° است، پس پرتو با زاویهٔ 60° نسبت به آینهٔ M_3 به آن تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. حالا با توجه به این‌که مجموع زوایای داخلی هر چهارضلعی برابر 360° است، زاویهٔ مکمل α برابر 60° می‌شود و از این‌جا معلوم می‌شود که داریم:



$$\alpha = 120^\circ$$

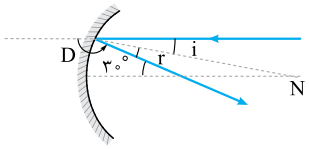
۲۳۴۱- گزینهٔ ۲ مطابق شکل، امتداد پرتو پس از دومین بازتاب، با امتداد آینهٔ M_2 موازی می‌شود، بنابراین دیگر بازتابی رخ نخواهد داد.



۲۳۴۲- 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:

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

۲۳۴۳- گزینهٔ ۳ **گام اول** براساس قضیهٔ خطوط موازی و مورب زاویهٔ بین پرتو تابش و بازتابش ۳۰° است، پس:

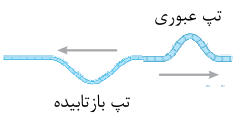


$$i + r = ۳۰^\circ \xrightarrow{i=r} ۲i = ۳۰^\circ \Rightarrow i = ۱۵^\circ$$

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

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

۲۳۴۴- گزینهٔ ۳ وقتی تپ به گره بین دو بخش نازک و ضخیم طناب می‌رسد، بخشی از آن بازتاب می‌شود و بخشی دیگر از آن عبور می‌کند. در تپ عبوری، جهت انتشار ثابت می‌ماند و قله به همان شکل قله باقی می‌ماند. از طرف دیگر گره برای تپی که در قسمت نازک طناب منتشر می‌شود، حکم انتهای بسته (ثابت) را دارد. بنابراین در تپ بازتابیده، قله به دره تبدیل می‌شود و جهت انتشار موج برعکس می‌شود و ۳ درست است.



۲۳۴۵- گزینهٔ ۴ **گام اول** با تغییر محیط انتشار موج، بسامد آن تغییر نمی‌کند؛ بنابراین بسامد موج که همان بسامد چشمهٔ موج است، ثابت می‌ماند.

گام دوم طبق رابطهٔ $v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$ و با توجه به یکسان‌بودن F و ρ، تندی انتشار موج در طناب با جذر مساحت مقطع طناب نسبت وارون دارد $(v \propto \frac{۱}{\sqrt{A}})$؛ پس با عبور موج از قسمت نازک طناب به قسمت ضخیم آن (افزایش A)، تندی انتشار موج کاهش می‌یابد. همچنین طبق رابطهٔ $v = \lambda f$ و با توجه به ثابت‌بودن f، λ و v نسبت مستقیم دارند، پس با کاهش تندی انتشار موج (v)، طول موج (λ) هم کاهش می‌یابد.

۲۳۴۶- گزینهٔ ۱ **گام اول** فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی برابر طول موج است، پس طول موج در ناحیهٔ عمیق برابر $\lambda_۱ = ۱۰\ cm$ است و بنابراین تندی امواج در ناحیهٔ عمیق برابر است با:

$$\lambda_۱ = \frac{v_۱}{f} \Rightarrow ۰/۱ = \frac{v_۱}{۵} \Rightarrow v_۱ = ۰/۵\ m/s$$

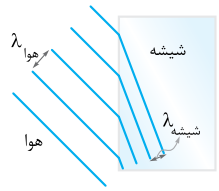
تندی در ناحیهٔ کم‌عمق، کم‌تر از تندی در ناحیهٔ عمیق است و داریم:

$$v_۲ = ۰/۴ v_۱ = ۰/۴ \times ۰/۵ = ۰/۲\ m/s \Rightarrow v_۲ = ۲۰\ cm/s$$

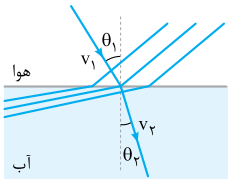
گام دوم بسامد امواج در ناحیهٔ کم‌عمق برابر با بسامد امواج در ناحیهٔ عمیق است و می‌توان نوشت:

$$\lambda_۲ = \frac{v_۲}{f} \Rightarrow \lambda_۲ = \frac{۰/۲}{۵} \Rightarrow \lambda_۲ = ۰/۰۴\ m \Rightarrow \lambda_۲ = ۴\ cm$$

۲۳۴۷- گزینهٔ ۴ بسامد یک موج جزء ویژگی‌های ذاتی آن موج است و تنها به **چشمهٔ** آن موج بستگی دارد؛ بنابراین بسامد موج بازتابیده با بسامد موج شکست‌یافته یکسان است. از طرف دیگر ضریب شکست شیشه بیشتر از ضریب شکست هواست. بنابراین با ورود موج از هوا به شیشه، تندی موج کاهش می‌یابد. حالا از رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$، می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش تندی موج، طول موج آن هم در شیشه مطابق شکل کوتاه‌تر می‌شود و با شکسته‌شدن موج، امتداد آن هم تغییر می‌کند.



۲۳۴۸- گزینهٔ ۳ تندی انتشار نور در هوا بیشتر از تندی انتشار نور در آب است، بنابراین وقتی جبهه‌های نور وارد آب می‌شوند، حرکتشان کند شده و مطابق شکل به هم نزدیک می‌شوند. در این شکل، نمودار پرتویی معادل هم رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با ورود نور از محیط شفاف رقیق (هوا) به محیط شفاف غلیظ (آب)، پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود.



تمرین **اگر صوت به طور مایل از هوا وارد آب شود، کدام گزینه شکل جبهه‌های موج در این دو محیط را به درستی نشان می‌دهد؟** ۲

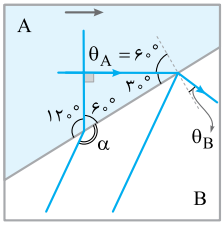
۲۳۴۹- گزینهٔ ۳ می‌دانیم طول موج، فاصلهٔ بین دو جبههٔ موج متوالی است، پس با توجه به شکل، طول موج در محیط I برابر $\lambda_I = ۸\ cm$ و در محیط R برابر $\lambda_R = ۶\ cm$ است و داریم:

$$v = \lambda f \Rightarrow \begin{cases} v_I = ۰/۰۸ \times ۱۰ = ۰/۸\ m/s \\ v_R = ۰/۰۶ \times ۱۰ = ۰/۶\ m/s \end{cases} \Rightarrow \Delta v = v_R - v_I = ۰/۶ - ۰/۸ = -۰/۲\ m/s \Rightarrow \Delta v = -۲۰\ cm/s$$

۲۳۵۰- گزینهٔ ۴ زاویه‌ای که جبهه‌های موج تابش و شکست با مرز جدایی دو محیط می‌سازند، برابر زوایای تابش و شکست است.

$$\frac{v_۱}{v_۲} = \frac{\sin\theta_۱}{\sin\theta_۲} \xrightarrow[\theta_۲=\beta]{\theta_۱=\alpha} \frac{v_۱}{v_۲} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin ۳۷^\circ}{\sin ۳۰^\circ} = \frac{۰/۶}{۰/۵} = \frac{۶}{۵}$$

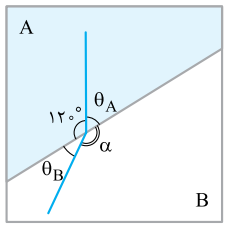
۲۳۵۱- گزینهٔ ۴ **گام اول** چون $۱۰\sqrt{۳} < ۳۰$ است، $v_B < v_A$ می‌باشد. پس عمق آب در بخش B کم‌تر از عمق آن در بخش A است. به کمک قانون شکست عمومی می‌نویسیم:



$$\frac{\sin\theta_B}{\sin\theta_A} = \frac{v_B}{v_A} \Rightarrow \frac{\sin\theta_B}{\sin ۶۰^\circ} = \frac{۱۰\sqrt{۳}}{۳۰} \Rightarrow \frac{\sin\theta_B}{\frac{\sqrt{۳}}{۲}} = \frac{\sqrt{۳}}{۳}$$

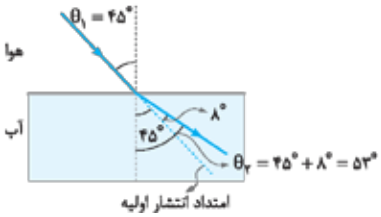
$$\Rightarrow \sin\theta_B = \frac{\sqrt{۳}}{۲}\times\frac{\sqrt{۳}}{۳} = \frac{۳}{۲\times۳} = \frac{۱}{۲} \Rightarrow \theta_B = ۳۰^\circ$$

گام دوم به کمک شکل، به راحتی دیده می‌شود که θ_B و α زاویه‌های مکمل یکدیگرند. پس:



$$\theta_B + \alpha = ۱۸۰^\circ \xrightarrow{\theta_B = ۳۰^\circ} ۳۰^\circ + \alpha = ۱۸۰^\circ \Rightarrow \alpha = ۱۸۰^\circ - ۳۰^\circ = ۱۵۰^\circ$$

۲۳۵۲- گزینهٔ ۲ زاویهٔ بین جبهه‌های موج تابیده‌شده و مرز دو محیط برابر زاویهٔ تابش پرتوی موج است. از طرفی با ورود موج صوتی به آب، تندی آن **افزایش** و در نتیجه از خط عمود **دورتر** می‌شود؛ بنابراین با توجه به شکل مقابل، قانون شکست عمومی را برای این پرتوی صوت می‌نویسیم:



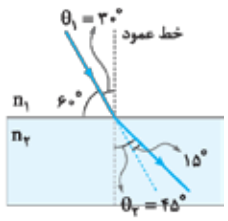
$$\frac{v_{هوا}}{v_{آب}} = \frac{\sin\theta_۱}{\sin\theta_۲} \Rightarrow \frac{۳۳۶}{v_{آب}} = \frac{\sin ۴۵^\circ}{\sin ۵۳^\circ} \Rightarrow \frac{۳۳۶}{v_{آب}} = \frac{\frac{\sqrt{۲}}{۲}}{۰/۸}$$

$$\xrightarrow{\sqrt{۲}\simeq ۱/۴} v_{آب} = \frac{۳۳۶\times ۰/۸}{۰/۷} = ۳۸۴\ m/s$$

با ورود پرتوی نور (موج الکترومغناطیسی) از هوا به محیط جامد یا مایع، تندی آن کاهش و در نتیجه پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود.
با ورود موج صوتی از هوا به محیط جامد یا مایع، تندی آن افزایش و در نتیجه پرتو از خط عمود دور می‌شود.

۲۳۵۳- گزینهٔ ۱ **گام اول** زاویهٔ تابش و شکست پرتو را به دست می‌آوریم:

$$\theta_۱ = ۹۰ - ۶۰ = ۳۰^\circ$$

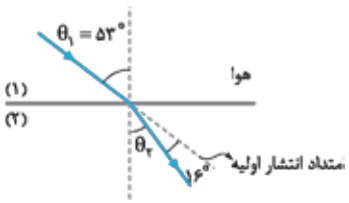


$$\theta_۲ = \theta_۱ + ۱۵ \xrightarrow{\theta_۱ = ۳۰^\circ} \theta_۲ = ۴۵^\circ$$

گام دوم حالا با استفاده از قانون شکست عمومی برای محیط‌های (۱) و (۲) داریم:

$$\frac{v_۲}{v_۱} = \frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱} \Rightarrow \frac{\lambda_۲}{\lambda_۱} = \frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱} = \frac{\sin ۴۵^\circ}{\sin ۳۰^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{۲}}{۲}}{\frac{۱}{۲}} = \sqrt{۲}$$

۲۳۵۴- گزینهٔ ۱ **گام اول** با ورود پرتوی نور از هوا به محیط شفاف، تندی آن کاهش و در نتیجه پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود. بنابراین مطابق شکل روبه‌رو، زاویهٔ شکست را تعیین می‌کنیم:



$$\theta_۲ = \theta_۱ - ۱۶^\circ = ۵۳ - ۱۶ = ۳۷^\circ$$

گام دوم طول موج نور در محیط (۲)، $\frac{۱}{۸}\mu m$ کم‌تر از طول موج نور در محیط (۱) است، پس:

$$\frac{\lambda_۲}{\lambda_۱} = \frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱} \Rightarrow \frac{\lambda_۱ - \frac{۱}{۸}\times۱۰^{-۶}}{\lambda_۱} = \frac{\sin ۳۷^\circ}{\sin ۵۳^\circ} \Rightarrow \frac{\lambda_۱ - \frac{۱}{۸}\times۱۰^{-۶}}{\lambda_۱} = \frac{\frac{۳}{۴}}{\frac{۴}{۵}} \Rightarrow ۴\lambda_۱ - \frac{۱}{۲}\times۱۰^{-۶} = ۳\lambda_۱ \Rightarrow \lambda_۱ = \frac{۱}{۲}\times۱۰^{-۶}\ m$$

گام سوم بسامد نور برابر است با:

$$f = \frac{c}{\lambda_۱} = \frac{۳\times۱۰^۸}{\frac{۱}{۲}\times۱۰^{-۶}} = ۶\times۱۰^{۱۴}\ Hz$$

۲۳۵۵- گزینهٔ ۳ **گام اول** تندی این نور در هوا برابر $c = ۳\times۱۰^۸\ m/s$ است، پس با استفاده از رابطهٔ طول موج داریم:

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow ۶۲۵\times۱۰^{-۹} = \frac{۳\times۱۰^۸}{f} \Rightarrow f = \frac{۳}{۶۲۵}\times۱۰^{۱۷} \Rightarrow f = \frac{۳۰۰۰}{۶۲۵}\times۱۰^{۱۴} \Rightarrow f = ۴/۸\times۱۰^{۱۴}\ Hz$$

گام دوم حالا از تعریف ضریب شکست کمک می‌گیریم. (λ: طول موج نور در هوا و λ': طول موج نور در زجاجیه)

$$n = \frac{c}{v} \xrightarrow[v=\lambda' f]{c=\lambda f} n = \frac{\lambda}{\lambda'} \Rightarrow n = \frac{۶۲۵\times۱۰^{-۹}}{۵۰۰\times۱۰^{-۹}} \Rightarrow n = \frac{۶۲۵}{۵۰۰} \Rightarrow n = ۱/۲۵$$

۲۳۵۶- گزینهٔ ۲ **گام اول** طول موج نور در خلأ (λ_1) را محاسبه می‌کنیم:

$$\lambda_1 = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8}{5\times10^{14}} = 6\times10^{-7}\ m = 600\ nm$$

گام دوم با ورود نور از خلأ به محیط شفاف، تندی و در نتیجه طول موج آن کاهش می‌یابد . طول موج نور در محیط شفاف برابر است با:

$$\lambda_2 = \lambda_1 - 150 = 600 - 150 = 450\ nm$$

گام سوم برای نوری با بسامد معین، طول موج و تندی با هم متناسب‌اند؛ بنابراین:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c}{v} \xrightarrow{n=\frac{c}{v}} n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{600}{450} = \frac{4}{3}$$

۲۳۵۷- گزینهٔ ۲ طبق صورت تست داریم:

$$\frac{n_{\text{الماس}}}{n_{\text{شیشه}}} = \frac{8}{5} \text{ و } \frac{n_{\text{شیشه}}}{n_{\text{آب}}} = \frac{9}{8}$$

حالا از تعریف ضریب شکست یک محیط شفاف می‌توان نوشت:

$$\frac{n_{\text{الماس}}}{n_{\text{شیشه}}}\times\frac{n_{\text{شیشه}}}{n_{\text{آب}}} = \frac{8}{5}\times\frac{9}{8} \Rightarrow \frac{n_{\text{الماس}}}{n_{\text{آب}}} = \frac{9}{5} \xrightarrow{n=\frac{c}{v}} \frac{v_{\text{آب}}}{v_{\text{الماس}}} = \frac{9}{5} \xrightarrow{x=vt} \frac{x_{\text{آب}}}{x_{\text{الماس}}} = \frac{9}{5} \Rightarrow \frac{36}{x_{\text{الماس}}} = \frac{9}{5} \Rightarrow x_{\text{الماس}} = 20\ cm$$

۲۳۵۸- گزینهٔ ۲ طول موج نور قرمز در خلأ و محیط مجهول را با λ_r و λ'_r و طول موج نور بنفش در خلأ و آب را با λ_v و λ'_v نشان می‌دهیم. با توجه به این‌که بسامد هر نور در همهٔ محیط‌ها ثابت و یکسان است، به کمک رابطهٔ طول موج با تندی و با ضریب شکست داریم:

$$\begin{cases}\lambda'_r = \frac{\lambda_r}{n}\\ \lambda'_v = \frac{\lambda_v}{n_{\text{آب}}}\end{cases} \xrightarrow{\lambda'_r=\lambda'_v} \frac{\lambda_r}{n} = \frac{\lambda_v}{\frac{4}{3}} \Rightarrow n = \frac{4}{3}\left(\frac{\lambda_r}{\lambda_v}\right) = \frac{4}{3}\times\frac{7}{4} = \frac{7}{3}$$

۲۳۵۹- گزینهٔ ۴ **گام اول** چون حداقل زمان لازم را می‌خواهیم، پرتویی از نور را در نظر می‌گیریم که در راستای قائم از لامپ به آب می‌تابد. زمان رسیدن نور به سطح آب برابر است با:

$$x = vt \xrightarrow{v=c} 9 = 3\times10^8\times t \Rightarrow t = 3\times10^{-8}\ s$$

گام دوم ابتدا تندی نور در آب و سپس زمان رسیدن نور به کف ظرف (آینه) را به دست می‌آوریم:

$$n_{\text{آب}} = \frac{c}{v_{\text{آب}}} \Rightarrow v_{\text{آب}} = \frac{c}{n_{\text{آب}}} = \frac{3\times10^8}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{4}\times10^8\ m/s$$

$$x' = v_{\text{آب}}t' \Rightarrow 4/5 = \frac{9}{4}\times10^8\times t' \Rightarrow t' = 2\times10^{-8}\ s$$

گام سوم زمان رسیدن نور از لامپ به آینه برابر است با:

$$t_{\text{رفت}} = t + t' = 3\times10^{-8} + 2\times10^{-8} = 5\times10^{-8}\ s$$

زمان برگشت نور از آینه به لامپ برابر همین مقدار است، بنابراین زمان کل برابر است با:

$$t_{\text{کل}} = 2t_{\text{رفت}} = 2\times5\times10^{-8}\ s = 10^{-7}\ s$$

تیزباش مسافتی که نور در مسیر رفت و برگشت می‌پیماید برابر $2\times(9+4/5) = 3\times9 = 27\ m$ است. فرض می‌کنیم آبی وجود ندارد و کل مسیر هواست بنابراین زمان لازم برای طی این مسافت برابر است با:

$$\Delta t = \frac{x}{c} = \frac{27}{3\times10^8} = 9\times10^{-8}\ s$$

حالا که بخشی از مسیر آب است، با توجه به کندتر بودن حرکت نور در آب نسبت به هوا، زمان مورد نظر باید بیشتر از $9\times10^{-8}\ s$ باشد و فقط ۴ می‌تواند جواب تست باشد.

۲۳۶۰- گزینهٔ ۳ **گام اول** کمیت‌های مربوط به آب و هوا را به ترتیب با زیروند w و a نشان می‌دهیم. به کمک رابطهٔ ضریب شکست و تندی نور، داریم:

$$\frac{v_a}{v_w} = \frac{n_w}{n_a} \Rightarrow \frac{v_a}{v_w} = \frac{4}{3}$$

گام دوم در مسیر AB، نور در آب مسافت $L_w = 144\ cm$ و در هوا مسافت $L_a = h$ را طی می‌کند. بنابراین:

$$x = vt \xrightarrow{t_a=t_w} \frac{L_a}{L_w} = \frac{v_a}{v_w} \Rightarrow \frac{h}{144} = \frac{4}{3} \Rightarrow h = \frac{4\times144}{3} = 4\times48 = 192\ cm$$

۲۳۶۱- گزینهٔ ۱ **گام اول** انتشار نور در یک محیط، حرکتی یکنواخت است، پس زمان حرکت نور در محیط n_1 برابر است با:

$$\Delta x = v\Delta t \Rightarrow L = v_1\Delta t_1 \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{L}{v_1}$$

گام دوم با توجه به رابطهٔ $n = \frac{c}{v}$، تندی انتشار نور در محیط n_2 از رابطهٔ $\frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$ به دست می‌آید و برای محاسبهٔ زمان حرکت نور در محیط n_2 می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v\Delta t \Rightarrow L = v_2\Delta t_2 \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{L}{v_2} \xrightarrow{\frac{1}{v_2}=\frac{1}{v_1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)} \Delta t_2 = \frac{L}{v_1}\times\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

گام سوم پس زمان رسیدن نور از A تا B برابر است با:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_1} + \frac{L}{v_1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_1}\left(1+\frac{n_2}{n_1}\right)$$

تیزباش فرض می‌کنیم از نقطهٔ A تا B کل محیط n_1 است، بنابراین مدت‌زمان رسیدن پرتو از A تا B برابر است با:

$$\Delta t' = \frac{2L}{v_1}$$

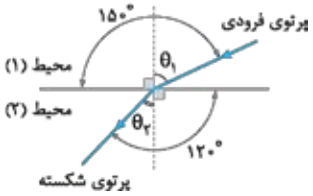
حالا که بخشی از محیط n_2 است و تندی نور در محیط n_2 ، نسبت به n_1 کاهش می‌یابد، بنابراین مدت‌زمان رسیدن پرتو از A تا B نسبت به حالتی که فرض کردیم افزایش می‌یابد؛ بنابراین باید $\Delta t > \frac{2L}{v_1}$ باشد. مشخص است که ۳ و ۴ کم‌تر از $\frac{2L}{v_1}$ هستند و نمی‌توانند جواب تست باشد. از طرفی برای ۲ هم می‌توان گفت:

$$n_1 < n_2 \Rightarrow \frac{n_1}{n_2} < 1 \xrightarrow{(+1)} 1+\frac{n_1}{n_2} < 2 \xrightarrow{\times\frac{L}{v_1}} \frac{L}{v_1}\left(1+\frac{n_1}{n_2}\right) < \frac{2L}{v_1}$$

بنابراین ۲ هم نمی‌تواند جواب تست باشد و فقط ۱ می‌تواند درست باشد.

۲۳۶۲- گزینهٔ ۱ در تمام گزینه‌ها پرتو از محیط شفاف رقیق به محیط شفاف غلیظ وارد می‌شود که می‌دانیم در این حالت پرتوی شکسته باید به خط عمود **نزدیک‌تر** شود. در ۱ پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود که درست است. در ۲ پرتو از خط عمود عبور می‌کند که نادرست است. در ۳ پرتو از خط عمود دور می‌شود که نادرست است، در ۴ پرتو درست در راستای خط عمود خارج می‌شود که نادرست است، زیرا تنها پرتویی که عمود بر فصل مشترک بتابد، به صورت عمود خارج می‌شود.

۲۳۶۳- گزینهٔ ۲ **روش اول: گام اول** شکل روبه‌رو، کامل‌شدهٔ شکل صورت تست است. با توجه به شکل:



$$\begin{cases}\theta_1+90^\circ=150^\circ \Rightarrow \theta_1=150^\circ-90^\circ=60^\circ\\ \theta_2+90^\circ=120^\circ \Rightarrow \theta_2=120^\circ-90^\circ=30^\circ\end{cases}$$

گام دوم به کمک قانون شکست عمومی، داریم:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}=\frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2}=\sqrt{3}$$

گام سوم به کمک رابطهٔ تندی نور با ضریب شکست می‌نویسیم:

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{n_2}{n_1} \xrightarrow{n_2=2} \sqrt{3}=\frac{2}{n_1} \Rightarrow n_1=\frac{2}{\sqrt{3}}\times\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}}=\frac{2\sqrt{3}}{3}$$

روش دوم: می‌توانیم n_1 را به کمک قانون شکست اسنل هم حساب کنیم:

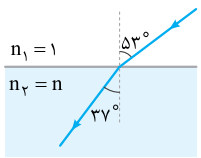
$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \Rightarrow n_1\times\sin 60^\circ=n_2\times\sin 30^\circ \Rightarrow n_1\times\frac{\sqrt{3}}{2}=2\times\frac{1}{2} \Rightarrow n_1=\frac{2}{\sqrt{3}}=\frac{2\sqrt{3}}{3}$$

تیزباش با توجه به این‌که پرتوی شکست به خط عمود نزدیک شده است، تندی نور کاهش یافته است؛ یعنی تندی نور در محیط (۱) بیشتر از تندی نور در محیط (۲) است. (رد ۳ و ۴). از طرفی ضریب شکست محیط (۱) کم‌تر از ضریب شکست محیط (۲) $(n_2=2)$ است (رد ۱).

۲۳۶۴- گزینهٔ ۴ زاویهٔ تابش در آب برابر $\theta_1=90^\circ-53^\circ=37^\circ$ است و چون پرتو از آب وارد هوا می‌شود، داریم: $n_1=\frac{4}{3}$ و $n_2=1$، حالا به کمک قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

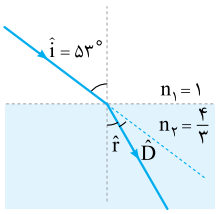
$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \Rightarrow \frac{4}{3}\times\sin 37^\circ=1\times\sin\theta_2 \Rightarrow \sin\theta_2=0/8 \Rightarrow \theta_2=53^\circ$$

۲۳۶۵- گزینهٔ ۳ راحت‌ترین تا با نمودار پرتویی کار کنیم. می‌دانیم پرتوها عمود بر جبهه‌های موج هستند و زاویهٔ بین جبههٔ موج فرودی با مرز دو محیط برابر با زاویهٔ تابش و زاویهٔ بین جبههٔ موج شکسته با مرز دو محیط برابر با زاویهٔ شکست است، پس می‌توان شکل مقابل را در نظر گرفت و به کمک قانون شکست اسنل نوشت:



$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \Rightarrow 1\times\sin 53^\circ=n\times\sin 37^\circ \Rightarrow n=\frac{4}{3}$$

۲۳۶۶- گزینهٔ ۲ **گام اول** با استفاده از قانون شکست اسنل، می‌توان نوشت:

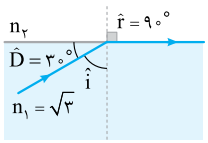


$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \xrightarrow[\theta_2=\hat{r}]{\theta_1=\hat{i}=53^\circ} 1\times\sin 53^\circ=\frac{4}{3}\times\sin\hat{r} \Rightarrow \sin\hat{r}=0/6 \Rightarrow \hat{r}=37^\circ$$

گام دوم بنابراین برای محاسبهٔ زاویهٔ انحراف مطابق شکل می‌توان نوشت:

$$\hat{i}=\hat{r}+\hat{D} \Rightarrow 53^\circ=37^\circ+\hat{D} \Rightarrow \hat{D}=16^\circ$$

۲۳۶۷- گزینهٔ ۳ **گام اول** مطابق شکل زاویهٔ شکست برابر $\hat{r}=90^\circ$ است و چون زاویهٔ انحراف برابر $\hat{D}=30^\circ$ است، $\hat{D}=\hat{r}-\hat{i} \Rightarrow \hat{i}=60^\circ$. حالا از قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:



$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \xrightarrow[\theta_2=\hat{r}=90^\circ]{\theta_1=\hat{i}=60^\circ} \sqrt{3}\times\frac{\sqrt{3}}{2}=n_2\times 1 \Rightarrow n_2=\frac{3}{2}$$

گام دوم تندی نور در محیط n_2 برابر است با:

$$n=\frac{c}{v} \Rightarrow n_2=\frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2=\frac{c}{n_2}=\frac{3\times10^8}{\frac{3}{2}} \Rightarrow v_2=2\times10^8\ m/s$$

۲۳۶۸- گزینهٔ ۴ **گام اول** پرتو از هوا به ضریب شکست $n_1=1$ وارد محیط غلیظی به ضریب شکست $n_2=1/6$ می‌شود؛ بنابراین می‌توان نوشت:

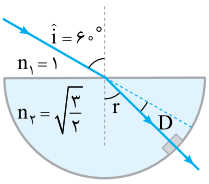
$$\hat{i}=\hat{r}+\hat{D} \xrightarrow{\hat{i}=2\hat{D}} 2\hat{D}=\hat{r}+\hat{D} \Rightarrow \hat{r}=\hat{D}$$

گام دوم به کمک قانون شکست اسنل داریم:

$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \xrightarrow[\theta_2=\hat{r}=\hat{D}]{\theta_1=\hat{i}=2\hat{D}} 1\times\sin 2\hat{D}=1/6\times\sin\hat{D}$$

$$\xrightarrow{\sin 2\alpha=2\sin\alpha\cos\alpha} 2\cos\hat{D}=1/6 \Rightarrow \cos\hat{D}=0/8 \xrightarrow{\cos 37^\circ=0/8} \hat{D}=37^\circ \Rightarrow \hat{i}=2\hat{D}=74^\circ$$

۲۳۶۹- گزینهٔ ۲ **گام اول** با استفاده از قانون شکست اسنل برای ورود پرتوی SI به نیم‌استوانه می‌توان نوشت:

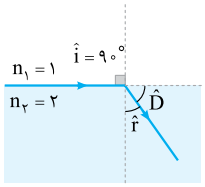


$$n_1\sin\hat{i}=n_2\sin\hat{r} \Rightarrow 1\times\sin 60^\circ=\sqrt{\frac{3}{2}}\times\sin\hat{r} \Rightarrow \sin\hat{r}=\frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \hat{r}=45^\circ$$

گام دوم پرتوی نور در خروج از نیم‌استوانه شکسته نمی‌شود، زیرا عمود بر سطح نیم‌استوانه تابیده است، بنابراین برای محاسبهٔ زاویهٔ انحراف خواهیم داشت:

$$\hat{i}=\hat{r}+\hat{D} \Rightarrow 60^\circ=45^\circ+\hat{D} \Rightarrow \hat{D}=15^\circ$$

۲۳۷۰- گزینهٔ ۳ $v=\frac{1}{2}c$ است، پس ضریب شکست محیط شفاف برابر ۲ $n=\frac{c}{v}=2$ است. در حالت کلی با **افزایش** زاویهٔ تابش، زاویهٔ شکست و زاویهٔ انحراف هم **افزایش** پیدا می‌کنند، بنابراین بیشترین زاویهٔ انحراف مربوط به حالتی است که مطابق شکل زاویهٔ تابش برابر 90° شود. با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

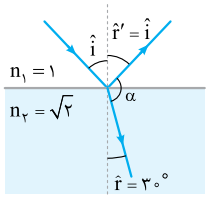


$$n_1\sin\hat{i}=n_2\sin\hat{r}\Rightarrow 1\times\sin 90^\circ=2\sin\hat{r}\Rightarrow\sin\hat{r}=\frac{1}{2}\Rightarrow\hat{r}=30^\circ$$

بنابراین بیشترین زاویهٔ انحراف برابر است با:

$$\hat{D}=\hat{i}-\hat{r}=90^\circ-30^\circ=60^\circ$$

۲۳۷۱- گزینهٔ ۳ **گام اول** مطابق شکل و با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

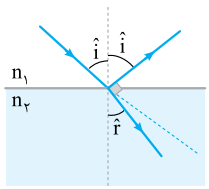


$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2\Rightarrow 1\times\sin\hat{i}=\sqrt{2}\times\sin 30^\circ\Rightarrow\sin\hat{i}=\frac{\sqrt{2}}{2}\Rightarrow\hat{i}=45^\circ$$

گام دوم بنابراین زاویهٔ بازتاب هم برابر $\hat{r}'=\hat{i}=45^\circ$ است و زاویهٔ بین پرتوی بازتاب و پرتوی شکست (α) برابر است با:

$$\hat{r}+\alpha+\hat{r}'=180^\circ\Rightarrow 30^\circ+\alpha+45^\circ=180^\circ\Rightarrow\alpha=105^\circ$$

۲۳۷۲- گزینهٔ ۴ **گام اول** پرتوی نوری را در نظر بگیرید که با زاویهٔ تابش $\hat{i}$ از محیط شفاف n_1 به محیط شفاف n_2 می‌تابد، حالا اگر پرتوی شکست در محیط دوم بر پرتوی بازتاب در محیط اول عمود باشد، می‌توان نوشت:



$$\hat{i}+90^\circ+\hat{r}=180^\circ\Rightarrow\hat{i}+\hat{r}=90^\circ\Rightarrow\hat{r}=90^\circ-\hat{i}$$

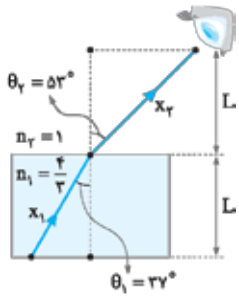
$$\Rightarrow\sin\hat{r}=\sin(90^\circ-\hat{i})\xrightarrow{\sin(90^\circ-\theta)=\cos\theta}\sin\hat{r}=\cos\hat{i}$$

گام دوم با استفاده از قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2\xrightarrow[\theta_2=\hat{r}]{\theta_1=\hat{i}}n_1\sin\hat{i}=n_2\sin\hat{r}$$

$$\Rightarrow\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\hat{i}}{\sin\hat{r}}=\frac{\sin\hat{i}}{\cos\hat{i}}\Rightarrow\tan\hat{i}=\frac{n_2}{n_1}\xrightarrow[n_1=1]{n_2=\sqrt{3}}\tan\hat{i}=\sqrt{3}\Rightarrow\hat{i}=60^\circ$$

۲۳۷۳- گزینهٔ ۴ **گام اول** ابتدا به کمک قانون شکست اسنل، زاویهٔ شکست در هوا را حساب می‌کنیم:



$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2\Rightarrow\frac{4}{3}\times\sin 37^\circ=1\times\sin\theta_2\Rightarrow\sin\theta_2=0/8\Rightarrow\theta_2=53^\circ$$

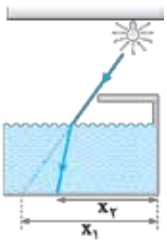
گام دوم با توجه به شکل، مسافتی که نور در آب (x_1) و هوا (x_2) طی می‌کند برابر است با:

$$\cos\theta_1=\frac{L}{x_1}\Rightarrow x_1=\frac{L}{\cos\theta_1},\cos\theta_2=\frac{L}{x_2}\Rightarrow x_2=\frac{L}{\cos\theta_2}$$

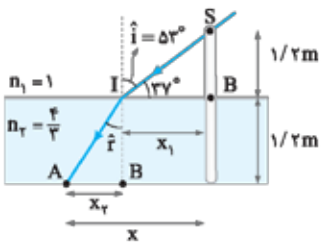
حالا با توجه به یکنواخت‌بودن حرکت نور در دو محیط داریم:

$$x=vt\Rightarrow t=\frac{x}{v}\Rightarrow\frac{t_2}{t_1}=(\frac{x_2}{x_1})\times(\frac{v_1}{v_2})\Rightarrow\frac{t_2}{t_1}=(\frac{\frac{L}{\cos\theta_2}}{\frac{L}{\cos\theta_1}})\times(\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2})\Rightarrow\frac{t_2}{t_1}=\frac{\sin\theta_1\cos\theta_1}{\sin\theta_2\cos\theta_2}\xrightarrow[\theta_2=53^\circ]{\theta_1=37^\circ}\frac{t_2}{t_1}=\frac{0/6\times0/8}{0/8\times0/6}\Rightarrow\frac{t_2}{t_1}=1$$

۲۳۷۴- گزینهٔ ۱ مطابق شکل وقتی استخر خالی است، طول سایهٔ تختهٔ شیرجه برابر x_1 است. با پرشدن استخر، نور از محیط رقیق (هوا) وارد محیط غلیظ (آب) می‌شود؛ بنابراین مطابق شکل به خط عمود نزدیک شده و طول سایهٔ تخته برابر x_2 می‌شود. با توجه به شکل $x_2<x_1$ است و طول سایهٔ تخته در هنگام پربودن استخر، **کوتاه‌تر** از طول سایهٔ آن، هنگام خالی‌بودن استخر است.



۲۳۷۵- گزینهٔ ۳ **گام اول** مطابق شکل پرتوهای نور خورشید در ضمن ورود به آب شکسته می‌شوند.



برای ورود نور به آب داریم:

$$n_1\sin\hat{i}=n_2\sin\hat{r}\Rightarrow 1\times\sin 53^\circ=\frac{4}{3}\times\sin\hat{r}\Rightarrow\sin\hat{r}=0/6\Rightarrow\hat{r}=37^\circ$$

گام دوم در مثلث ISB داریم:

$$\tan 37^\circ=\frac{1/2}{x_1}\Rightarrow x_1=1/6\ m$$

هم‌چنین در مثلث IAB داریم:

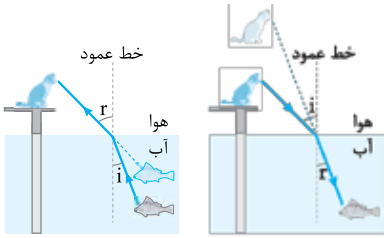
$$\tan\hat{r}=\tan 37^\circ=\frac{x_2}{1/2}\Rightarrow\frac{3}{4}=\frac{x_2}{1/2}\Rightarrow x_2=0/9\ m$$

گام سوم طول سایه‌ای که از تیر بر کف استخر می‌افتد، مجموع x_1 و x_2 است، بنابراین:

$$x=1/6+0/9=2/5\ m$$

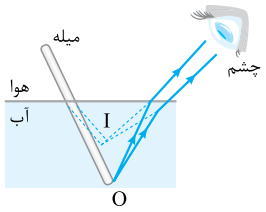
تمرین اگر تیر به طور کامل در آب قرار داشت، طول سایه‌اش در کف استخر چند متر بود؟ $x=1/8\ m$

۲۳۷۶- گزینهٔ ۳ وقتی نور از آب وارد هوا می‌شود، از محیط غلیظ به محیط رقیق وارد می‌شود و بنابر قانون شکست اسنل، از خط عمود دور می‌شود، بنابراین مطابق شکل (الف) گربه، ماهی را **نزدیک‌تر** از مکان واقعی می‌بیند. از طرف دیگر وقتی نور از هوا وارد آب می‌شود، از محیط رقیق به محیط غلیظ وارد می‌شود و بنابر قانون شکست اسنل، به خط عمود نزدیک می‌شود. بنابراین مطابق شکل (ب) ماهی، گربه را **دورتر** از مکان واقعی می‌بیند.

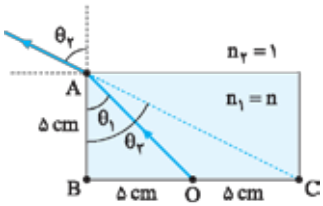


(الف) (ب)

۲۳۷۷- گزینهٔ ۳ پرتوهایی که از انتهای میله (نقطهٔ O) به سطح آب می‌تابند، هنگام خروج شکسته شده و به نظر می‌رسد از نقطهٔ I (تصویر مجازی نقطهٔ O) آمده‌اند. بنابراین مطابق شکل میله شکسته به نظر می‌رسد، یعنی کوتاه‌تر و نزدیک به سطح آب مشاهده می‌شود.



۲۳۷۸- گزینهٔ ۱ **گام اول** در شکل مقابل، وضعیت پرتوها پس از پرشدن ظرف از مایع رسم شده است. سینوس زاویه‌های θ_1 و θ_2 را محاسبه می‌کنیم:



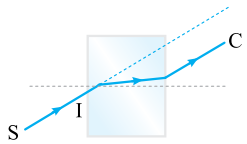
$$\sin\theta = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} \Rightarrow \sin\theta_1 = \frac{BO}{AO} = \frac{5}{\sqrt{5^2+5^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{BC}{AC} = \frac{5+5}{\sqrt{10^2+5^2}} = \frac{10}{5\sqrt{5}} = \frac{2}{\sqrt{5}}$$

گام دوم با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

$$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2 \xrightarrow{\frac{n_1=n}{n_2=1}} n\times\frac{1}{\sqrt{2}} = 1\times\frac{2}{\sqrt{5}} \Rightarrow n = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{5}} \Rightarrow n = \frac{2\sqrt{2}\times\sqrt{5}}{\sqrt{5}\times\sqrt{5}} = \frac{2\sqrt{10}}{5}$$

۲۳۷۹- گزینهٔ ۳ وقتی پرتوی SI از هوا به شیشه می‌تابد، چون از محیط رقیق به محیط غلیظ وارد می‌شود، به خط عمود نزدیک می‌شود (پرتوهای C و D). در ضمن فقط در صورتی که پرتو عمود بر سطح مشترک بتابد، مسیر D را دنبال خواهد کرد.



۲۳۸۰- گزینهٔ ۳ **گام اول** قانون شکست اسنل را برای دو حالت می‌نویسیم:

$$\text{(۱) حالت: } n_{\text{آب}}\sin\theta = n_{\text{تیغه}}\sin\theta_1' \Rightarrow \sin\theta_1' = \frac{n_{\text{آب}}}{n_{\text{تیغه}}}\sin\theta \quad (I)$$

$$\text{(۲) حالت: } n_{\text{هوا}}\sin\theta = n_{\text{تیغه}}\sin\theta_2' \Rightarrow \sin\theta_2' = \frac{n_{\text{هوا}}}{n_{\text{تیغه}}}\sin\theta \quad (II)$$

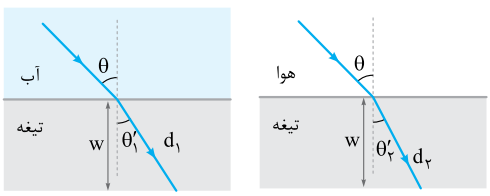
با توجه به این‌که $n_{\text{آب}} > n_{\text{هوا}}$ است، داریم:

$$n_{\text{آب}} > n_{\text{هوا}} \xrightarrow{(I),(II)} \sin\theta_1' > \sin\theta_2' \Rightarrow \theta_1' > \theta_2'$$

بنابراین زاویهٔ شکست پرتوی نور در حالت (۱) **بزرگ‌تر** از حالت (۲) است.

گام دوم با توجه به نتیجهٔ به دست آمده در گام اول، شکل‌های مقابل را رسم می‌کنیم.

با توجه به مسیری که پرتوی نور در دو حالت می‌پیماید، داریم:



(۱) (۲)

$$\text{(۱) حالت: } d_1 = v_1t_1 \xrightarrow{\cos\theta_1'=\frac{w}{d_1}} \frac{w}{\cos\theta_1'} = v_1t_1$$

$$\text{(۲) حالت: } d_2 = v_2t_2 \xrightarrow{\cos\theta_2'=\frac{w}{d_2}} \frac{w}{\cos\theta_2'} = v_2t_2$$

تندی نور فقط به ویژگی‌های محیط تیغه وابسته است. با توجه به این‌که در هر دو حالت، تیغه یکسان است؛ بنابراین $v_1 = v_2$ است و می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} t_1 = \dfrac{w}{v_1\cos\theta_1'} \\ t_2 = \dfrac{w}{v_2\cos\theta_2'} \end{cases} \xrightarrow[v_1=v_2]{\theta_1'>\theta_2' \Rightarrow \cos\theta_1'<\cos\theta_2'} t_1 > t_2$$

تیزباش هر چه اختلاف ضریب شکست دو محیط مجاور هم بیشتر باشد، میزان انحراف پرتوی موج بیشتر است.

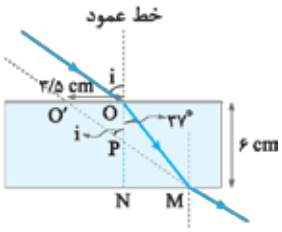
در این تست چون $n_{\text{آب}} < n_{\text{هوا}}$ است، اختلاف ضریب شکست دو محیط در حالت (۲) بیشتر و در نتیجه میزان انحراف پرتو در حالت (۲) بیشتر است.

چون در این تست پرتو در هر دو حالت از محیط با ضریب شکست کم‌تر وارد محیط با ضریب شکست بیشتر می‌شود، بنابراین به خط عمود نزدیک می‌شود و پرتویی که انحراف آن بیشتر است، زاویهٔ شکست کوچک‌تری خواهد داشت؛ یعنی: $\theta_2' < \theta_1' \Rightarrow$ انحراف پرتوی (۱) > انحراف پرتوی (۲)

با توجه به یکسان‌بودن دو تیغه، پرتوی نوری که بیشتر منحرف می‌شود، مسیر کوتاه‌تری را طی می‌کند و در نتیجه زمان طی‌کردن عرض تیغه برای آن کم‌تر است.

$t_2 < t_1 \Rightarrow$ انحراف پرتوی (۱) > انحراف پرتوی (۲)

۲۳۸۱- گزینهٔ ۲ **روش اول: گام اول** باید با استفاده از روابط هندسی زاویهٔ $\hat{i}$ را به دست آوریم. به کمک شکل روبه‌رو و با استفاده از روابط مثلثاتی داریم:



$$\begin{cases}\cos 37^\circ = \dfrac{\overline{ON}}{\overline{OM}} \Rightarrow 0/8 = \dfrac{6}{\overline{OM}} \Rightarrow \overline{OM} = 7/5\ \text{cm} \\ \sin 37^\circ = \dfrac{\overline{MN}}{\overline{OM}} \Rightarrow 0/6 = \dfrac{\overline{MN}}{7/5} \Rightarrow \overline{MN} = 4/5\ \text{cm}\end{cases}$$

گام دوم مثلث‌های OPO' و NPM متشابه‌اند؛ بنابراین:

$$\frac{\overline{OO'}}{\overline{MN}} = \frac{\overline{OP}}{\overline{PN}} \xrightarrow{\overline{PN}=6-\overline{OP}} \frac{3/5}{4/5} = \frac{\overline{OP}}{6-\overline{OP}} \Rightarrow 21 - 3/5\overline{OP} = 4/5\overline{OP} \Rightarrow \overline{OP} = \frac{21}{8}\ \text{cm}$$

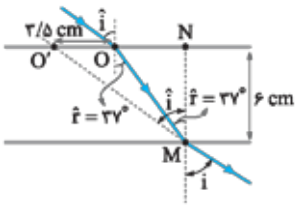
زاویهٔ رأس P در مثلث OPO' با توجه به قضیهٔ خطوط موازی و مورب برابر $\hat{i}$ است و داریم:

$$\tan \hat{i} = \frac{\overline{OO'}}{\overline{OP}} = \frac{3/5}{\frac{21}{8}} = \frac{28}{21} = \frac{4}{3} \Rightarrow \hat{i} = 53^\circ$$

گام سوم با استفاده از قانون شکست اسنل، ضریب شکست محیط شفاف را به دست می‌آوریم:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \xrightarrow[\theta_2=37^\circ]{\theta_1=i=53^\circ} 1\times\sin 53^\circ = n_2 \sin 37^\circ \Rightarrow 0/8 = n_2 \times 0/6 \Rightarrow n_2 = \frac{0/8}{0/6} = \frac{4}{3}$$

روش دوم: گام اول با توجه به شکل مقابل و با استفاده از روابط مثلثاتی می‌توان نوشت:



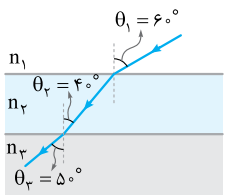
$$\overset{\Delta}{OMN}: \tan\hat{r} = \frac{\overline{ON}}{\overline{MN}} \Rightarrow \tan 37^\circ = \frac{\overline{ON}}{6} \xrightarrow{\tan 37^\circ = \frac{3}{4}} \overline{ON} = 4/5\,\text{cm}$$

$$\overset{\Delta}{O'MN}: \tan\hat{i} = \frac{\overline{O'N}}{\overline{MN}} = \frac{OO'+ON}{\overline{MN}} \Rightarrow \tan\hat{i} = \frac{3/5+4/5}{6} = \frac{4}{3} \Rightarrow \hat{i} = 53^\circ$$

گام دوم به کمک قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

$$n_1 \sin\hat{i} = n_2 \sin\hat{r} \Rightarrow 1\times\sin 53^\circ = n_2 \times \sin 37^\circ \Rightarrow n_2 = \frac{4}{3}$$

۲۳۸۲- گزینهٔ ۱ قانون شکست اسنل برای ورود نور از محیط n_1 به n_2 به صورت $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ است.



به همین ترتیب قانون شکست اسنل برای ورود نور از محیط n_2 به محیط n_3 هم به صورت $n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3$ است، پس در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3$$

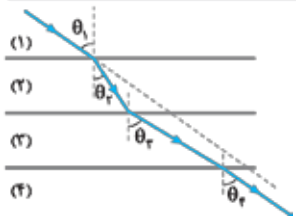
از طرفی سینوس زاویهٔ حاده تابعی صعودی است، پس از نامساوی $\theta_1 > \theta_3 > \theta_2$ می‌توان نتیجه گرفت:

$$\sin\theta_1 > \sin\theta_3 > \sin\theta_2$$

حالا اگر این نامساوی را با تساوی حاصل از قانون شکست اسنل ترکیب کنیم، خواهیم داشت: $n_1 < n_3 < n_2$

تمرین **تندی نور در این سه محیط شفاف را با هم مقایسه کنید.** $v_1 > v_3 > v_2$

۲۳۸۳- گزینهٔ ۳ هر چه پرتو به خط عمود نزدیک‌تر شود، تندی نور کم‌تر می‌شود، براساس شکل روبه‌رو:



$$\theta_3 > (\theta_1 = \theta_4) > \theta_2$$

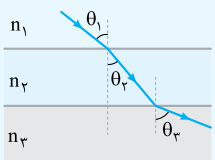
$$v_3 > (v_1 = v_4) > v_2$$

۲۳۸۴- گزینهٔ ۳ با توجه به شکل تست $\theta_1 = 45^\circ$، $\theta_2 = 20^\circ$ و $\theta_3 = 60^\circ$، از قانون شکست اسنل برای سه محیط داریم:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3 \Rightarrow n_1 \sin\theta_1 = n_3 \sin\theta_3 \xrightarrow{n=\frac{c}{v}} \frac{c}{v_1}\sin\theta_1 = \frac{c}{v_3}\sin\theta_3$$

$$\Rightarrow \frac{v_3}{v_1} = \frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_1} \Rightarrow \frac{v_3}{v_1} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = \sqrt{\frac{3}{2}}$$

نکته اگر چند محیط در مجاورت هم قرار داشته باشند و سطح مشترک همهٔ آن‌ها با هم موازی باشد می‌توان در صورت نیاز محیط‌های بین دو محیط غیرمجاور را نادیده گرفت و قانون شکست اسنل را برای این دو محیط نوشت:



$$n_1 \sin\theta_1 = n_3 \sin\theta_3$$

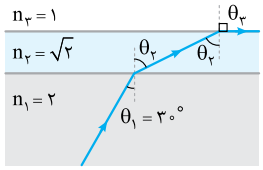
تیزابش زاویهٔ شکست در محیط n_3 $(\theta_3 = 60^\circ)$ بزرگ‌تر از زاویهٔ تابش در محیط n_1 $(\theta_1 = 45^\circ)$ است. طبق قانون شکست عمومی داریم:

$$\frac{v_3}{v_1} = \frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_1} \xrightarrow[0<\theta<90^\circ]{\theta_3>\theta_1} \frac{v_3}{v_1} > 1$$

از بین گزینه‌ها فقط مقدار داده‌شده در ۳ بزرگ‌تر از یک است و فقط این گزینه می‌تواند جواب تست باشد.

تمرین **رابطهٔ بین ضریب شکست سه محیط شفاف را بنویسید.** $n_2 > n_1 > n_3$

۲۳۸۵- گزینهٔ ۲ با توجه به قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

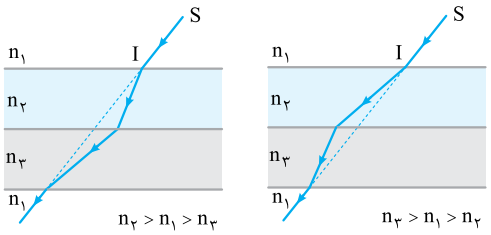


$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2=n_3\sin\theta_3 \Rightarrow 2\times\sin 30^\circ=\sqrt{2}\times\sin\theta_2=1\times\sin\theta_3$$

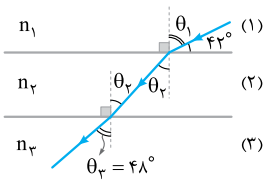
$$\Rightarrow \sin\theta_2=\frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta_2=45^\circ \text{ و } \sin\theta_3=1 \Rightarrow \theta_3=90^\circ$$

با توجه به مقدارهای به‌دست‌آمده برای θ_2 و θ_3، مسیر پرتو مطابق شکل است.

۲۳۸۶- گزینهٔ ۳ اگر n_2 و n_3 هر دو **بزرگ‌تر** از n_1 باشند، پرتو در این دو محیط به خط عمود نزدیک شده و پرتوی خروجی با این‌که با پرتوی ورودی موازی است، اما امتدادش عوض شده و به طرف **راست** جابه‌جا می‌شود. به طریق مشابه اگر n_2 و n_3 هر دو **کوچک‌تر** از n_1 باشند، امتداد پرتوی خروجی به طرف **چپ** جابه‌جا می‌شود. اما اگر ضریب شکست یکی از محیط‌ها بزرگ‌تر از n_1 و دیگری کوچک‌تر از n_1 باشد، این امکان وجود دارد که راستای پرتو تغییر نکند. بدیهی است که اگر ضریب شکست سه محیط یکسان باشد، شکستی اتفاق نمی‌افتد و راستای پرتو هم تغییری نمی‌کند اما باید توجه داشت که الزامی برای این موضوع وجود ندارد.



۲۳۸۷- گزینهٔ ۲ **گام اول** از روی شکل زاویهٔ تابش اولیه را حساب می‌کنیم:



$$\theta_1+42^\circ=90^\circ \Rightarrow \theta_1=90^\circ-42^\circ=48^\circ$$

بنابراین زاویه‌های تابش اولیه و شکست نهایی با هم برابرند: $\theta_3=\theta_1=48^\circ$

گام دوم طبق قانون شکست عمومی، تندی نور در محیط‌های (۱) و (۳) برابرند و این دو محیط طبق رابطهٔ بین ضریب شکست و تندی نور، ضریب شکست یکسانی دارند؛ یعنی:

$$\begin{cases}\frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_1}=\frac{v_3}{v_1} \xrightarrow{\theta_3=\theta_1} \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_1}=\frac{v_3}{v_1} \Rightarrow v_3=v_1=2/5\times10^8 \text{ m/s}=2/5\times10^5 \text{ km/s}\\ \frac{v_3}{v_1}=\frac{n_1}{n_3} \xrightarrow{v_3=v_1} 1=\frac{n_1}{n_3} \Rightarrow n_3=n_1\end{cases}$$

گام سوم حالا به کمک آن‌چه در صورت تست گفته شده، داریم:

$$n_2=n_3+0/25n_3=1/25n_3=\frac{5}{4}n_3 \Rightarrow \frac{n_3}{n_2}=\frac{4}{5}$$

$$\frac{v_2}{v_3}=\frac{n_3}{n_2} \Rightarrow \frac{v_2}{v_3}=\frac{4}{5} \xrightarrow{v_3=2/5\times10^5 \text{ km/s}} \frac{v_2}{2/5\times10^5}=\frac{4}{5} \Rightarrow v_2=\frac{4\times2/5\times10^5}{5}=\frac{10}{5}\times10^5=2\times10^5 \text{ km/s}$$

گام چهارم اختلاف تندی نور در محیط‌های (۱) و (۲) را به دست می‌آوریم: $\Delta v=v_2-v_1=2\times10^5-2/5\times10^5=-0/5\times10^5=-5\times10^4 \text{ km/s}$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ **کم‌تر** بودن v_2 از v_1 است.

۲۳۸۸- گزینهٔ ۴ **گام اول** تندی نور در محیط (۲)، ۲۵ درصد کم‌تر از تندی نور در محیط (۱) است؛ بنابراین:

$$v_2=v_1-\frac{25}{100}v_1=\frac{3}{4}v_1$$

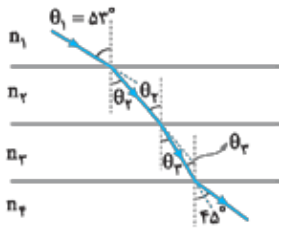
قانون شکست عمومی را برای محیط‌های (۱) و (۲) می‌نویسیم:

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \Rightarrow \frac{v_1}{\frac{3}{4}v_1}=\frac{\sin 53^\circ}{\sin\theta_2} \Rightarrow \sin\theta_2=\frac{3}{4}\times0/8=0/6 \Rightarrow \theta_2=37^\circ$$

گام دوم تندی نور در محیط (۴)، ۴۰ درصد بیشتر از تندی نور در محیط (۳) است؛ بنابراین:

$$v_4=v_3+\frac{40}{100}v_3=1/4v_3$$

با نوشتن قانون شکست عمومی برای محیط‌های (۳) و (۴) داریم:



$$\frac{v_3}{v_4}=\frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_4} \Rightarrow \frac{v_3}{1/4v_3}=\frac{\sin\theta_3}{\sin 45^\circ} \Rightarrow \sin\theta_3=\frac{0/7}{1/4}=\frac{1}{2} \Rightarrow \theta_3=30^\circ$$

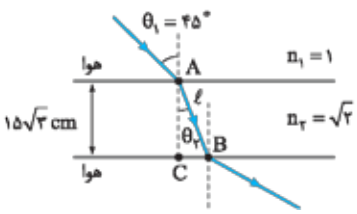
گام سوم در نهایت قانون شکست اسنل را برای محیط‌های (۲) و (۳) می‌نویسیم:

$$\frac{n_2}{n_3}=\frac{\sin\theta_3}{\sin\theta_2} \Rightarrow \frac{n_2}{n_3}=\frac{\sin 30^\circ}{\sin 37^\circ}=\frac{\frac{1}{2}}{0/6}=\frac{5}{6}$$

۲۳۸۹- گزینهٔ ۳ **گام اول** تندی نور در محیط n_2 را به دست می‌آوریم:

$$\frac{v_2}{v_1}=\frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{v_2}{3\times10^8}=\frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow v_2=\frac{3\sqrt{2}}{2}\times10^8 \text{ m/s}$$

گام دوم به فاصلهٔ A تا B نیاز داریم. ابتدا زاویهٔ شکست θ_2 در شکل مقابل را به کمک قانون شکست اسنل محاسبه می‌کنیم:



$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{\sin\theta_2}{\sin 45^\circ} \Rightarrow \sin\theta_2=\frac{\sqrt{2}}{2}\times\frac{1}{\sqrt{2}}=\frac{1}{2} \Rightarrow \theta_2=30^\circ$$

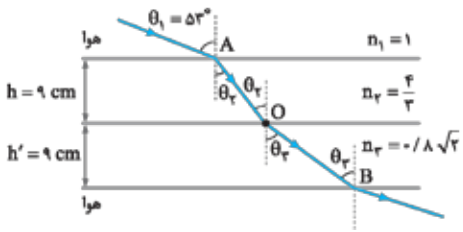
حالا به کمک روابط مثلثاتی در مثلث ABC، فاصلهٔ AB را به دست می‌آوریم:

$$\cos\theta_2=\frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}}\Rightarrow\cos 30^\circ=\frac{15\sqrt{3}}{\ell}\Rightarrow\ell=\frac{15\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}=30\,\text{cm}=0/3\,\text{m}$$

گام سوم زمان خواسته‌شده برابر است با:

$$\ell=vt\Rightarrow 0/3=\frac{3\sqrt{2}}{2}\times10^8\times t\Rightarrow t=\frac{0/3}{\frac{3\sqrt{2}}{2}\times10^8}=\sqrt{2}\times10^{-9}\,s\Rightarrow t=\sqrt{2}\,ns$$

۲۳۹۰- گزینهٔ ؟ **گام اول** با استفاده از قانون شکست اسنل، زوایای شکست در محیط‌های (۲) و (۳) را به دست می‌آوریم:



$$\begin{cases}\text{محیط‌های (۱) و (۲):}\ n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2\Rightarrow 1\times\sin53^\circ=\frac{4}{3}\times\sin\theta_2\Rightarrow 1\times0/8=\frac{4}{3}\times\sin\theta_2\Rightarrow\sin\theta_2=0/6\Rightarrow\theta_2=37^\circ\\ \text{محیط‌های (۲) و (۳):}\ n_2\sin\theta_2=n_3\sin\theta_3\Rightarrow\frac{4}{3}\sin37^\circ=0/8\sqrt{2}\sin\theta_3\Rightarrow\sin\theta_3=\frac{\frac{4}{3}\times0/6}{0/8\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2}\Rightarrow\theta_3=45^\circ\end{cases}$$

گام دوم حالا فاصله‌های $\overline{AO}$ و $\overline{OB}$ را به دست می‌آوریم:

$$\begin{cases}\cos\theta_2=\frac{h}{AO}\Rightarrow\cos37^\circ=\frac{0/09}{\overline{AO}}\Rightarrow\overline{AO}=\frac{0/09}{0/8}=\frac{9}{80}\,m\\ \cos\theta_3=\frac{h'}{OB}\Rightarrow\cos45^\circ=\frac{0/09}{\overline{OB}}\Rightarrow\overline{OB}=\frac{0/09}{\frac{\sqrt{2}}{2}}=\frac{9\sqrt{2}}{100}\,m\end{cases}$$

گام سوم تندی انتشار نور در محیط‌های (۲) و (۳) به صورت زیر به دست می‌آید:

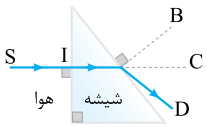
$$\begin{cases}v_2=\frac{c}{n_2}=\frac{3\times10^8}{\frac{4}{3}}=\frac{9}{4}\times10^8\,m/s\\ v_3=\frac{c}{n_3}=\frac{3\times10^8}{0/8\sqrt{2}}=\frac{30}{8\sqrt{2}}\times10^8\,m/s\end{cases}$$

گام چهارم مدت‌زمانی که نور فاصلهٔ A تا B را طی می‌کند، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$t_{کل}=t_{AO}+t_{OB}=\frac{\overline{AO}}{v_2}+\frac{\overline{OB}}{v_3}=\frac{\frac{9}{80}}{\frac{9}{4}\times10^8}+\frac{\frac{9\sqrt{2}}{100}}{\frac{30}{8\sqrt{2}}\times10^8}=0/5\times10^{-9}+0/48\times10^{-9}=0/98\times10^{-9}\,s\Rightarrow t_{کل}=0/98\,ns$$

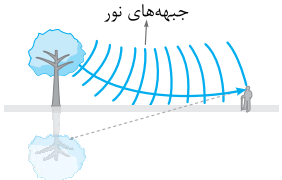
متأسفانه پس از این حل طولانی و زمان‌بر، گزینهٔ درست در بین گزینه‌ها نبود!!!

۲۳۹۱- گزینهٔ ۴ پرتوی SI به طور عمود بر یکی از وجه‌های منشور تابیده است، بنابراین بدون انحراف وارد منشور می‌شود. در هنگام خروج پرتو از منشور، چون پرتو از محیط غلیظ وارد محیط رقیق می‌شود، باید از خط عمود دور شود که مانند شکل، پرتوی D این ویژگی را دارد.

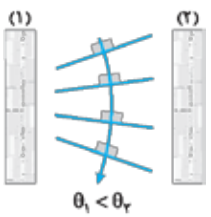


۲۳۹۲- گزینهٔ ۴ پرتو پس از ورود از هوا (محیط رقیق) به منشور شیشه‌ای (محیط غلیظ) به خط عمود نزدیک‌تر شده و به طرف پایین منحرف می‌شود (پرتوهای C و D). پس از عبور از منشور، پرتو عمود بر سطح کره می‌تابد، پس بدون شکست از آن عبور می‌کند (پرتوی D).

۲۳۹۳- گزینهٔ ۴ در روزهای گرم، هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، دمای لایه‌های هوا **بیشتر** شده و چگالی هوا **کاهش** می‌یابد، در نتیجه ضریب شکست لایه‌های هوا **کاهش** می‌یابد. (درستی ۲) در نتیجه برای جبهه‌های موج که به طرف پایین می‌آیند، تندی در نزدیکی سطح زمین **بیشتر** است (درستی ۳)؛ بنابراین این پرتوها هر چه بیشتر به سطح زمین نسبتاً داغ نزدیک شده و بیشتر به سمت افق خم می‌شوند (درستی ۱) و مطابق شکل به چشم ما می‌رسند و طرحی مانند سطح آب (سراب آبگیر) تشکیل می‌شود. سراب یک خطای ذهن و یا یک تصویر مجازی **نیست**، بلکه یک تصویر حقیقی است که با نور واقعی به وجود می‌آید و می‌توان از آن عکس گرفت. (نادرستی ۴)



۲۳۹۴- گزینهٔ ۴ داستان این تست شبیه به پدیدهٔ سراب است. لایه‌های هوای سالن که به دیوارهٔ گرم‌تر (۲) نزدیک‌ترند، دمای **بالاتر** و در نتیجه چگالی **کم‌تری** دارند. این **کاهش** چگالی باعث کاهش ضریب شکست هوای کنار دیوارهٔ (۲) نسبت به ضریب شکست هوای کنار دیوارهٔ (۱) می‌شود و طبق رابطهٔ وارون ضریب شکست و تندی نور $(v\propto\frac{1}{n})$، جبهه‌های موج در کنار دیوارهٔ (۲) **تندتر** از جبهه‌های موج در کنار دیوارهٔ (۱) حرکت می‌کنند و فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در کنار دیوارهٔ (۲) مطابق شکل **بیشتر** از فاصلهٔ بین جبهه‌ها موج در کنار دیوارهٔ (۱) می‌شود. با توجه به لزوم عمودبودن پرتو بر جبهه‌های موج، شکل جبهه‌های موج و یک پرتوی آن در مجاورت دیوارها به صورت شکل مقابل خواهد بود.



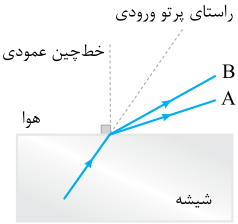
۲۳۹۵- گزینهٔ ۳ گفتیم که **عموماً** ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های **کوتاه‌تر**، **بیشتر** است؛ بنابراین با توجه به بلندتربودن طول موج نور قرمز از نور بنفش، ضریب شکست شیشه برای نور قرمز **کم‌تر** از نور بنفش است، یعنی $n_r < n_v$.

حالا از تعریف ضریب شکست داریم:

$$n = \frac{c}{v} \xrightarrow{c:\text{ثابت}} \frac{n_r}{n_v} = \frac{v_v}{v_r} \xrightarrow{n_r<n_v} \frac{v_v}{v_r} < ۱ \Rightarrow v_r > v_v$$

ضریب شکست خلأ برای همهٔ طول موج‌ها برابر یک است.

۲۳۹۶- گزینهٔ ۴ با توجه به نمودار $\lambda_A < \lambda_B$ است؛ در نتیجه $n_A > n_B$ است. پس اگر پرتوی فرودی شامل نورهای A و B از شیشه وارد هوا شود، زاویهٔ شکست پرتویی بزرگ‌تر است که ضریب شکست شیشه برای آن، بزرگ‌تر باشد.

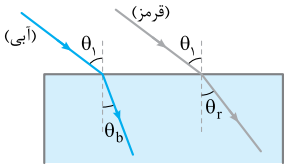


$$n \sin i = n_{\text{هوا}} \sin r \Rightarrow \sin r = (\frac{n}{n_{\text{هوا}}}) \sin i \xrightarrow{n_A>n_B} \hat{r}_A > \hat{r}_B$$

هم‌چنین چون پرتوی فرودی از محیط غلیظ (شیشه) وارد محیط رقیق (هوا) شده است. پرتوهای A و B باید از خط عمود دور شوند.

۲۳۹۷- گزینهٔ ۳ ضریب شکست شیشه برای نور آبی بیشتر از ضریب شکست شیشه برای نور قرمز است و نور آبی بیشتر از نور قرمز از مسیر اولیه منحرف می‌شود.

برای اثبات، مطابق شکل مقابل پرتوهای آبی و قرمز را جداگانه رسم می‌کنیم. ضریب شکست هوا را با n_a و ضریب شکست شیشه را برای نورهای آبی و قرمز به ترتیب با n_b و n_r نشان می‌دهیم.



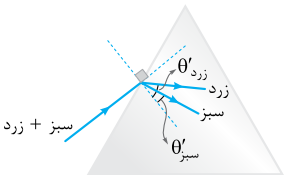
$$n_a \sin \theta_۱ = n_b \sin \theta_b \quad (۱)$$

$$n_a \sin \theta_۱ = n_r \sin \theta_r \quad (۲)$$

$$(۱) = (۲) \Rightarrow n_b \sin \theta_b = n_r \sin \theta_r \xrightarrow{n_b>n_r} \theta_b < \theta_r$$

۲۳۹۸- گزینهٔ ۱ ضریب شکست تیغه برای نور آبی بیشتر از نور قرمز است؛ پس پرتوی آبی در تیغه **بیشتر** از پرتوی قرمز منحرف می‌شود و در نتیجه در داخل تیغه، دو پرتو در حال نزدیک‌شدن به یکدیگر هستند و **همگرا** می‌باشند. از طرف دیگر پس از شکست مجدد دو پرتو و ورود آن‌ها به هوا، هر دو پرتو به موازات امتداد اولیهٔ خود خارج می‌شوند که در این حالت دو پرتوی آبی و قرمز با هم موازی می‌باشند.

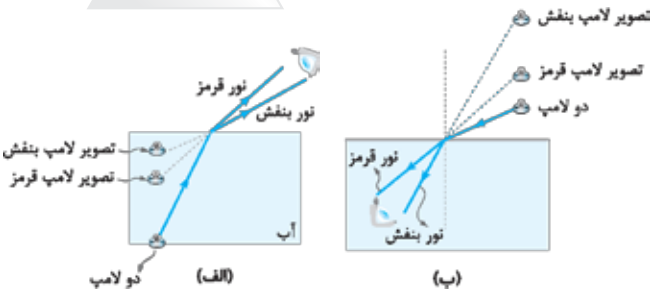
۲۳۹۹- گزینهٔ ۲ طول موج نور سبز **کوتاه‌تر** از نور زرد است؛ بنابراین ضریب شکست منشور برای نور سبز **بیشتر** است. مطابق شکل مقابل در داخل منشور میزان انحراف پرتوی **سبز بیشتر** از پرتوی زرد است و برای زاویهٔ شکست دو پرتو می‌توان نوشت:



$$\theta'_{\text{سبز}} < \theta'_{\text{زرد}}$$

۲۴۰۰- گزینهٔ ۳ **گام اول** گفتیم که هر چه طول موج نور تک‌رنگ **کوتاه‌تر** باشد، ضریب شکست محیط شفاف برای این نور **بیشتر** است و آن نور در اثر شکست **بیشتر** منحرف می‌شود. حالا به شکل (الف) نگاه کنید.

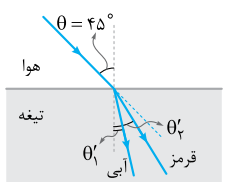
در حالت اول با توجه به انحراف بیشتر نور بنفش، تصویر لامپ بنفش نزدیک به سطح آب دیده می‌شود، در حالی که انحراف کم‌تر نور قرمز سبب می‌شود تصویر لامپ **قرمز** در عمق **بیشتری** به نظر برسد.



گام دوم در حالت دوم و مطابق شکل (ب) به دلیل انحراف بیشتر نور بنفش نسبت به نور قرمز، تصویر لامپ **بنفش** در ارتفاع **بیشتری (بالاتر)** دیده می‌شود.

۲۴۰۱- گزینهٔ ۴ **گام اول** ضریب شکست تیغه برای پرتوی قرمز (که طول موج آن نسبت به آبی بلندتر است) کم‌تر است؛ بنابراین پرتوی قرمز پس از ورود به تیغه **کم‌تر** از پرتوی آبی منحرف می‌شود و **پرتوی (۲)** نشان‌دهندهٔ پرتوی قرمز است.

گام دوم قانون شکست اسنل را به صورت جداگانه برای هر کدام از پرتوها می‌نویسیم تا زاویهٔ شکست هر یک از آن‌ها به دست آید:



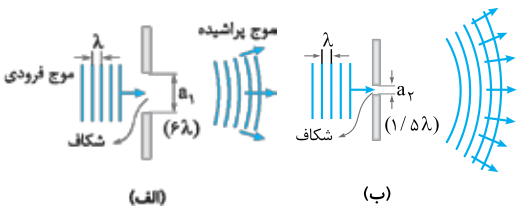
$$\begin{cases} \text{پرتوی آبی: } n_۱ \sin\theta = n'_۱ \sin\theta'_۱ \xrightarrow[n'_۱=\sqrt{۲}]{n_۱=۱,\theta=۴۵^\circ} ۱\times\sin ۴۵^\circ = \sqrt{۲}\times\sin\theta'_۱ \Rightarrow \frac{\sqrt{۲}}{۲} = \sqrt{۲}\times\sin\theta'_۱ \\ \Rightarrow \sin\theta'_۱ = \frac{۱}{۲} \Rightarrow \theta'_۱ = ۳۰^\circ \\ \text{پرتوی قرمز: } n_۱ \sin\theta = n'_۲ \sin\theta'_۲ \xrightarrow[n'_۲=\frac{۵\sqrt{۲}}{۶}]{n_۱=۱,\theta=۴۵^\circ} ۱\times\sin ۴۵^\circ = \frac{۵\sqrt{۲}}{۶}\times\sin\theta'_۲ \Rightarrow \frac{\sqrt{۲}}{۲} = \frac{۵\sqrt{۲}}{۶}\sin\theta'_۲ \\ \Rightarrow \sin\theta'_۲ = ۰/۶ \Rightarrow \theta'_۲ = ۳۷^\circ \end{cases}$$

زاویهٔ بین دو پرتو برابر است با:

$$\Delta\theta = \theta'_۲ - \theta'_۱ = ۳۷^\circ - ۳۰^\circ = ۷^\circ$$

۲۴۰۲- گزینهٔ ۴ این جمله دقیقاً از متن کتاب درسی گرفته شده است.

۲۴۰۳- گزینهٔ ۴ مطابق شکل (الف) وقتی پهنای شکاف خیلی **بزرگ‌تر** از طول موج است، قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد، تقریباً تخت باقی می‌ماند، اما وقتی مطابق شکل (ب) پهنای شکاف **نزدیک** به طول موج شود، قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد، از حالت تخت خارج شده و به اطراف گسترده می‌شود. به این پدیده که موج در عبور از یک شکاف از مرتبهٔ طول موج خم شده و به اطراف گسترده می‌شود، **پراش** می‌گویند. پراش حاصل تداخل امواج است.



۲۴۰۴- گزینهٔ ۲ می‌دانیم در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در **حدود طول موج** باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می‌کند، به وضوح خم شده و به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود که به این پدیده پراش می‌گویند؛ بنابراین تا همین‌جا (۲) نادرست است. از طرف دیگر پراش برای همهٔ انواع موج‌ها از جمله امواج نوری و امواج صوتی رخ می‌دهد (درستی (۳)). طول موج امواج رادیویی AM **بیشتر** از امواج FM است؛ بنابراین برای شکافی با ابعاد معین پراش امواج AM **بارزتر** از پراش امواج FM است (درستی (۱)). در پدیدهٔ پراش بسامد نور تغییر نمی‌کند؛ بنابراین با توجه به ثابت‌ماندن تندی نور در یک محیط و براساس $\lambda = \frac{v}{f}$، طول موج نور پس از پراشیده‌شدن **تغییری نمی‌کند**. (درستی (۴))

نکته وضوح پدیدهٔ پراش متناسب با $\frac{\lambda}{a}$ است یعنی هر چه مقدار $\frac{\lambda}{a}$ بیشتر باشد، پراش با وضوح بیشتری رخ می‌دهد. بر این اساس: ۱) به ازای یک طول موج معین (ثابت: λ) هر چه پهنای شکاف کم‌تر باشد، پراش با وضوح بیشتری رخ می‌دهد. ۲) به ازای شکافی با پهنای معین (ثابت: a) هر چه طول موج پرتو بیشتر باشد، پراش با وضوح بیشتری رخ می‌دهد.

۲۴۰۵- گزینهٔ ۳ وقتی گیرنده به دلیل وجود یک تپه یا ساختمان در معرض ارسال مستقیم امواج یک آنتن نباشد، هم‌چنان سیگنال را به دلیل پراش امواج از لبه‌های مانع دریافت خواهد کرد، به شرط این‌که سیگنال در اطراف آن مانع به اندازهٔ کافی به داخل ناحیهٔ سایهٔ مانع پراشیده شود. مقدار پراش به نسبت طول موج نور به اندازهٔ مانعی بستگی دارد که سایه می‌افکند. طول موج‌های بلندتر پراش بیشتری به وجود می‌آورند. بسامد سیگنال‌های تلویزیونی جدید بسیار بیشتر از سیگنال‌های تلویزیونی قدیمی است؛ بنابراین به دلیل **کاهش** طول موج سیگنال‌ها، پراش سیگنال‌ها به ناحیهٔ سایه **کاهش** یافته و امکان دریافت سیگنال‌ها توسط گیرنده‌ای که در ناحیهٔ سایهٔ مانع قرار دارند نیز **کاهش** می‌یابد.

۲۴۰۶- گزینهٔ ۲ برای پراشیده‌شدن یک موج از یک مانع، لازم است ابعاد مانع (a) در حدود ابعاد طول موج (λ) باشد؛ بنابراین کافی است طول موج امواج را حساب کنیم:

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{3\times10^{8}}{2\times10^{9}} \Rightarrow \lambda = 1/5\times10^{-1}\ m \Rightarrow \lambda = 15\ cm$$

برای همهٔ ابعاد داده‌شده در گزینه‌ها پراش رخ می‌دهد. برای موانعی که ابعاد آن در حدود $1/5\,m$ و $15m$ است پدیدهٔ پراش بارز نیست و زمانی که ابعاد مانع در حدود $15\,cm$ و کوچک‌تر شود پدیدهٔ پراش بارز خواهد بود.

۲۴۰۷- گزینهٔ ۳ هر چه طول موج نور بیشتر و پهنای شکاف کم‌تر باشد ($\frac{\lambda}{a}$ بزرگ‌تر باشد)، نقش پراش بارزتر خواهد شد. بنابراین باید λ ی بزرگ‌تر ($\lambda = 600\ nm$ نارنجی) و پهنای شکاف کوچک‌تر ($a = 0/9\,\mu m$) را انتخاب کنیم.

۲۴۰۸- گزینهٔ ۳ **گام اول** با توجه به تغییرنکردن سایر عوامل، انجام آزمایش در آب باعث تغییر طول موج نور و صوت می‌شود. تندی و طول موج نور در آب **کم‌تر** از هواست؛ بنابراین با انجام آزمایش (الف) در آب، طول موج نور **کاهش** و وضوح پدیدهٔ پراش **کم‌تر** می‌شود.

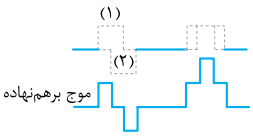
وضوح پراش نور در هوا > وضوح پراش نور در آب $\xrightarrow{\text{وضوح پراش} \propto \lambda}$ $\lambda_{آب} < \lambda_{هوا}$ $\xrightarrow{v \propto \lambda}$ $v_{آب} < v_{هوا}$:آزمایش (الف)

گام دوم تندی و طول موج صوت در آب **بیشتر** از هواست؛ بنابراین با انجام آزمایش (ب) در آب، طول موج صوت **افزایش** و وضوح پدیدهٔ پراش **بیشتر** می‌شود.

وضوح پراش صوت در هوا > وضوح پراش صوت در آب $\xrightarrow{\text{وضوح پراش} \propto \lambda}$ $\lambda'_{آب} > \lambda'_{هوا}$ $\xrightarrow{v \propto \lambda}$ $v'_{آب} > v'_{هوا}$:آزمایش (ب)

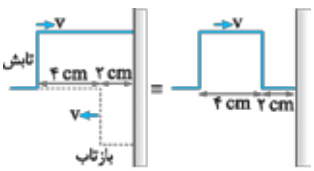
۲۴۰۹- گزینهٔ ۴ بر طبق اصل برهم‌نهی موج‌ها، در نقطه‌ای که دو موج با هم تلاقی می‌کنند، جابه‌جایی ذره‌ای از محیط که در آن نقطه است، برابر برایند جابه‌جایی حاصل از هر یک از موج‌هاست. نمودارهای جابه‌جایی ـ مکان نشان می‌دهند که در لحظهٔ مورد نظر، جابه‌جایی ذرهٔ M در اثر موج (۱) برابر y_1 و در اثر موج (۲) برابر $-y_2$ است، بنابراین جابه‌جایی برایند نقطهٔ M در این لحظه برابر $y_1 - y_2$ می‌شود.

۲۴۱۰- گزینهٔ ۲ اگر طبق اصل برهم‌نهی امواج، جابه‌جایی هر نقطه را برابر با مجموع جابه‌جایی حاصل از موج‌های (۱) و (۲)، در نظر بگیریم، شکل موج برهم نهاده مطابق شکل (۲) می‌شود.



۲۴۱۱- گزینهٔ ۴ پس از گذشت زمان T (یک دوره)، هر کدام از تپ‌ها به اندازهٔ یک طول موج یا همان x پیشروی می‌کنند، در نتیجه دو تپ سینوسی با دامنهٔ A، کاملاً بر یکدیگر منطبق می‌شوند. در این حالت برهم‌نهی آن‌ها سازنده است و یک تپ سینوسی با دامنهٔ $2A$ تشکیل می‌شود.

۲۴۱۲- گزینهٔ ۴ در مدت $\Delta t = 3\ s$، موج به اندازهٔ $\Delta x = v\Delta t = 4\times3 = 12\ cm$ پیش‌روی می‌کند، در نتیجه مطابق شکل، $2\ cm$ از تپ از انتهای ثابت بازتابیده می‌شود. انتهای طناب ثابت است، بنابراین در موج بازتاب‌شده، قله به دره تبدیل شده و جهت انتشار برعکس می‌شود، در نتیجه برهم‌نهی ویرانگر رخ می‌دهد و شکل موج در لحظهٔ $t = 3\ s$ مطابق (۴) خواهد شد.



۲۴۱۳- گزینهٔ ۳ در نقطهٔ D که دو قله به هم می‌رسند یا در نقطهٔ A که دو دره به هم می‌رسند، تداخل سازنده روی می‌دهد و شکم تشکیل می‌شود، اما در دو نقطهٔ B و C که یک قله و یک دره به هم می‌رسند، تداخل ویرانگر رخ می‌دهد و گره تشکیل می‌شود.

۲۴۱۴- گزینهٔ ۲ در محلی که صوت حاصل از بلندگوها به طور سازنده با هم تداخل می‌کنند، بلندگو شدت زیادی را نشان می‌دهد و نقطهٔ با صدای بالا (L) ایجاد می‌شود. به طریق مشابه، در محلی که صوت حاصل از بلندگوها به طور ویرانگر با هم تداخل می‌کنند، بلندگو شدت خیلی کمی (و شاید صفر) را نشان می‌دهد و نقطهٔ با صدای ضعیف (S) ایجاد می‌شود. بدین‌سان، با حرکت در امتداد خط راست از P تا P′، **بلندی صدا به طور متناوب کم و زیاد می‌شود**. بسامد صوت تولیدشده توسط مولد ثابت است؛ بنابراین **ارتفاع** صوتی که گوش شخص درک می‌کند، **ثابت** می‌ماند.