

با سپاس از سه موجود مقدس؛
آن‌که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم؛
موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم؛
و عاشقانه سوختند تا گرمایش وجود ما و روشنگر را همان باشند؛
پدرانمان، مادرانمان و استادانمان.

مقدمه ناشر

با نگاه فلسفی زمان مهم‌ترین کمیت فیزیکیه! آگه 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، واتس‌آپ، PS5 و ... اینایی که اسم بردم چندشخصیتی‌اند. شخصیت خوب هم دارن، مثلاً پرکننده اوقات فراغت یا اطلاع‌رسان سریع ولی یکی از شخصیتاشون قاتل حرفه‌ای زمانه گول ظاهر جذابشون رو نخورین.

خب! بدون وقت‌گشی باید بگم که دم مؤلف‌های توانای این کتاب گرم؛ از استاد توانا که سنگ‌بنای این کتاب رو گذاشت تا استاد مصلاهی 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 پروژه این کتاب رو با دلسوزی و زحمت جلو برد ممنونم. هم‌چنین مرسی از همکاری واحد تولید که در کل قاره آسیا هم‌تا ندارن.

زمانتان خوش‌عنان و ایام به کامتان

مقدمه مؤلفان

از سال ۱۳۹۶ و در پی سیاست کاهش حجم و مطالب کتاب‌های درسی توسط وزارت‌خانه 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 یلی بودند، آن قدر 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. (رشته ریاضی: ۵/۹ درصد و رشته تجربی: ۴/۵ درصد)

پیام، روشن بود! اول این که افت کتاب درسی باعث افت دانش‌آموزان هم شده! دوم این که قرار نیست همیشه از کتاب نسبتاً ساده 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 ساده یا بسیار سخت که معمولاً در چارچوب کنکور نمی‌گنجد، وجود ندارد؛ به طوری که به جز تعداد اندکی، تمام تست‌های گزینش‌شده و تألیفی ممکن است با تغییرات کمی در کنکورهای بعدی عرض اندام کنند (آن تعداد اندک هم جنبه 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 چندباره 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 قارچ) یعنی این سؤال عیناً از کنکور سراسری خارج از کشور رشته 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 به‌روزرسانی شده یکی از سؤال‌های کنکور سراسری رشته 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 و 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 این که کتاب ویرایش شده، قابل قیاس با چاپ اولیه 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 ابودر نصری، دکتر کمیل نصری، مهندس رضا سبزمیدانی، ملیکا مهری، شیما فرهوش، محمد باغبان، محمدرضا فضلی، سارا دانایی کجانی، مهدی‌رضا کاظمی، احمد نعمتی، زهرا محبت‌تاش، منصور داوودوندی، نازنین‌زهرا آذریان، سینا کریمی، شقایق وفابخشی، رابین محمدی، مریم گلی‌حسنلو، ایمان پورپاک، محمد پوررضا، امید احسانی و آریین کرمی و دوستان حرفه‌ای واحد تولید خیلی سبز



فصل ۱

فیزیک و اندازه‌گیری

۷



فصل ۲

ویژگی‌های فیزیکی مواد

۲۰



فصل ۳

کار، انرژی و توان

۵۱



فصل ۴

دما و گرما

۶۹



فصل ۵

الکتریسیته ساکن

۹۲



فصل ۶

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

۱۲۶



فصل ۷

مغناطیس و القای الکترومغناطیسی

۱۵۹



فصل ۸

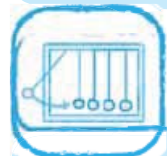
حرکت بر خط راست



فصل ۹

دینامیک

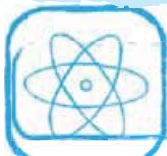
۲۵۰



فصل ۱۰

نوسان و امواج

۳۷۵



فصل ۱۱

آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای

۳۲۷

۳۵۲

پاسخ‌نامه تشریحی

۶۸۳

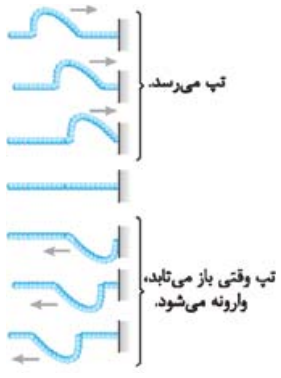
پاسخ‌نامه کلیدی

دوره ۵ بازتاب موج

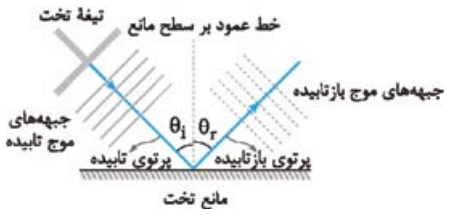
یکی از ویژگی‌های مشترک امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی بازتاب آن‌ها از یک سطح است.

بازتاب امواج مکانیکی

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



بازتاب در دو بعد: در شکل مقابل با به نوسان درآوردن یک تیغه 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.



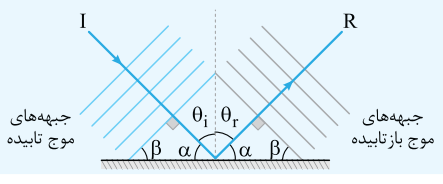
نمودار پرتویی: برای نمایش ساده‌تر امواج منتشرشده در دو و سه بعد می‌توانیم مطابق شکل مقابل از پرتوهای مستقیمی که در جهت انتشار موج و عمود بر جبهه‌های موج‌اند، استفاده کنیم. **زاویه تابش و بازتابش:** زاویه‌ای را که پرتوی تابش با خط عمود بر مانع می‌سازد، «زاویه تابش» و زاویه‌ای را که پرتوی بازتابیده با خط عمود بر مانع می‌سازد، «زاویه بازتابش» می‌نامیم. زاویه تابش و بازتابش را به ترتیب با θ_i و θ_r نشان می‌دهند.

قانون بازتاب عمومی

$$\theta_i = \theta_r$$

زاویه تابش برابر زاویه بازتابش است:

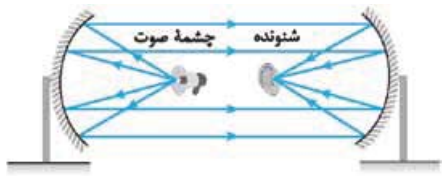
نکته ۱: قانون بازتاب عمومی در مورد همه امواج (از جمله امواج صوتی و امواج الکترومغناطیسی، همه انواع امواج تخت، دایره‌ای، کروی و ...) و هر وضعیت مانع برقرار است.



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

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

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 $0.1s$ باشد.

تست کم‌ترین فاصله بین شما و یک دیوار بلند، چند متر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ (تندی صوت در هوا 340 m/s در نظر بگیرید.)

۱۷ (۱) ۳۴ (۲) ۱۷۰ (۳) ۳۴۰ (۴)

پاسخ گزینه ۱: اگر فاصله 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 $0.1s$ بعد از صدای اصلی به گوش شخص برسد، این دو صدا از یکدیگر متمایز می‌شوند، پس می‌توان نوشت:

$$t = \frac{2l}{v} \xrightarrow{t \geq 0.1s} \frac{2l}{v} \geq 0.1 \Rightarrow \frac{2l}{340} \geq 0.1 \Rightarrow l \geq 17 \text{ m} \Rightarrow l_{\min} = 17 \text{ m}$$

مکان یابی پژواکی: تست قبل نشان می‌دهد چگونه می‌توان با دانستن تندی انتشار موج در یک محیط، فاصله یک جسم تا چشمه صوت را تعیین کرد. به این روش «مکان یابی 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 ← الکترومغناطیسی

نکته ۲ اگر ابعاد مانع کوچک‌تر از طول موج ارسالی باشد (به دلیل پدیده پراش که بعداً راجع به آن می‌خوانید) بازتاب مؤثری اتفاق نمی‌افتد؛ بنابراین، برای تشخیص یک جسم، اندازه 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 اندازه ۱ cm را شناسایی کند؟

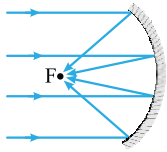
(۱) فقط خفاش (۲) فقط دلفین (۳) هر دو (۴) هیچ‌کدام

پاسخ گزینه ۱ **گام اول** برای تشخیص یک جسم، اندازه 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.

$$\lambda_b = \frac{v}{f_b} = \frac{300}{50 \times 10^3} = 0.6 \times 10^{-2} \text{ m} = 0.6 \text{ cm}$$

$$\lambda_d = \frac{v}{f_d} = \frac{1500}{100 \times 10^3} = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m} = 1.5 \text{ cm}$$

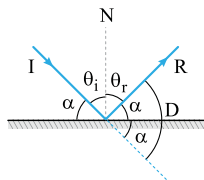
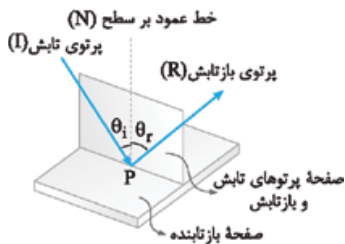
گام دوم اندازه جسم بزرگ‌تر از λ_b و کوچک‌تر از λ_d است. پس خفاش قادر به شناسایی جسم است، ولی دلفین خیر.



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 کانونی کردن امواج فرسرخ و گرم کردن مواد غذایی استفاده می‌شود.

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

- ۱ میکروفون سهمی ← کاربرد ← ثبت صداهای ضعیف ← نوع موج ← صوت
- ۲ لیتوتریپسی ← کاربرد ← شکستن سنگ کلیه ← نوع موج ← فراصوت
- ۳ اجاق خورشیدی ← کاربرد ← گرم کردن مواد غذایی ← نوع موج ← الکترومغناطیسی (به ویژه امواج فرسرخ)
- ۴ آنتن بشقابی ← کاربرد ← دریافت امواج رادیویی ← 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 بازتابی پرتوی تابش، پرتوی بازتاب و خط عمود بر سطح، هر سه در یک صفحه واقع‌اند.
- ۲ زاویه تابش و زاویه بازتاب با هم برابرند ($\theta_i = \theta_r$).

زاویه‌ای که پرتوی تابش (یا پرتوی بازتاب) با خط مماس بر سطح در نقطه تابش می‌سازد، متمم زاویه تابش (یا زاویه 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 اندازه D از مسیر اولیه منحرف شده است.

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

تست زاویه تابش به یک آینه 10° کاهش می‌یابد. در نتیجه، زاویه محدود به پرتوهای تابش و بازتاب، یک سوم مقدار اولیه می‌شود. زاویه تابش اولیه چند درجه بوده است؟

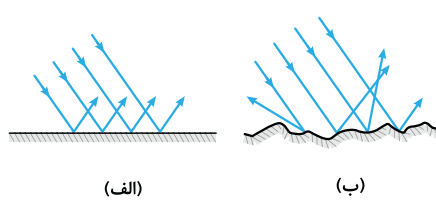
۲۵ (۴)

۴۵ (۳)

۳۵ (۲)

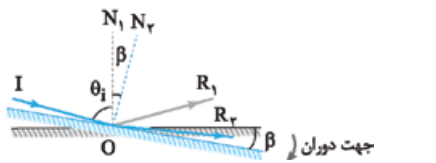
۱۵ (۱)

پاسخ گزینه ۱: زاویه محدود به پرتوهای تابش و بازتابش برابر $2\theta_i$ است؛ لذا می توان نوشت:

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


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 ویژگی ای دارد، «بازتاب منظم» یا «بازتاب آینه‌ای» می نامند (شکل الف). یک دسته پرتوی موازی، پس از برخورد به یک سطح ناصاف، در جهت های مختلف بازتابیده می شوند و نظم ظاهری خود را از دست می دهند. این نوع از بازتاب نور را «بازتاب نامنظم» یا «بازتاب پخشنده» می نامیم (شکل ب).

در بازتاب پخشنده نیز در هر بازتاب، زاویه های تابش و بازتاب با هم برابرند و پرتوی تابش، پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در یک صفحه واقع اند. طول موج نور مرئی حدود $0.5 \mu\text{m}$ است؛ بنابراین برای نور مرئی سطحی هموار محسوب می شود که ابعاد ناهمواری های آن بسیار کوچک تر از $0.5 \mu\text{m}$ باشد.



اگر در حالی که راستا و سوی پرتوی تابش ثابت است، آینه تخت به اندازه زاویه β حول نقطه تابش (O) دوران کند، پرتوی بازتاب به اندازه زاویه 2β در همان جهت دوران می کند. برای اثبات به شکل مقابل توجه کنید. در حالی که پرتوی I ثابت است، آینه را به اندازه β در جهت ساعتگرد چرخانده ایم. پرتوی بازتاب در ابتدا R_1 و پس از دوران آینه R_2 است. با توجه به شکل، داریم:

$$\begin{cases} \hat{I}O\hat{R}_1 = \theta_i + \theta_r = 2\theta_i \\ \hat{I}O\hat{R}_2 = 2(\theta_i + \beta) = 2\theta_i + 2\beta \end{cases} \Rightarrow R_1\hat{O}R_2 = \hat{I}O\hat{R}_2 - \hat{I}O\hat{R}_1 = 2\beta$$

تست پرتویی با زاویه تابش 3° ، بر سطح آینه تختی فرود می آید. اگر پرتوی تابش و آینه هر دو 1° در یک جهت (و در یک صفحه) دوران کنند، پرتوی بازتاب چند درجه دوران می کند؟

پاسخ گزینه ۲: اثر چرخش پرتوی تابش و آینه بر چرخش پرتوی بازتاب را به طور مستقل بررسی می کنیم:

گام اول: فرض کنید مطابق شکل (الف)، پرتوی تابش به اندازه 1° در جهت ساعتگرد دوران کند. در این صورت، پرتوی بازتاب به همان اندازه، اما در جهت پادساعتگرد می چرخد تا زاویه تابش و بازتاب، دوباره مساوی شوند.

گام دوم: حالا فرض کنید مطابق شکل (ب)، آینه به اندازه 1° در جهت ساعتگرد بچرخد. در این صورت، پرتوی بازتاب به اندازه $2^\circ = 2 \times 1^\circ$ در همان جهت (ساعتگرد) می چرخد.

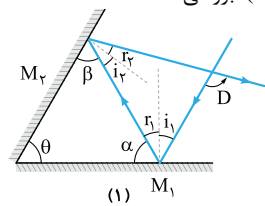
گام سوم: پس پرتوی بازتاب در اثر دوران پرتوی تابش، 1° در جهت پادساعتگرد و در اثر دوران آینه، 2° در جهت ساعتگرد دوران می کند که نتیجه این دو، گردش 1° در جهای پرتوی بازتاب در جهت ساعتگرد است:

$$\Delta\theta = 2 \times 1^\circ - 1^\circ \Rightarrow \Delta\theta = 1^\circ$$

اگر پرتوی تابش و آینه هر دو 1° در جهت پادساعتگرد می چرخند، پرتوی بازتاب 1° در جهت پادساعتگرد منحرف می شد.

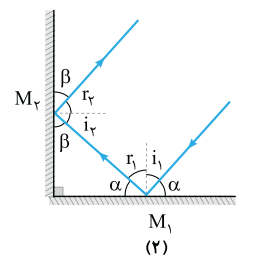
آینه های متقاطع

یکی از الگوهای رایج در تست های کنکور ردیابی مسیر پرتویی است که به یکی از دو آینه تخت متقاطع تابیده و توسط آینه دیگر بازتابیده می شود. در نمونه زیر، در سه حالت رایج، رابطه زاویه بین پرتوی بازتابیده از آینه دوم و پرتوی تابیده به آینه اول (D) با زاویه بین دو آینه (θ) بررسی شده است. **نمونه** در شکل (۱) که زاویه بین دو آینه حاده است، داریم:



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

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

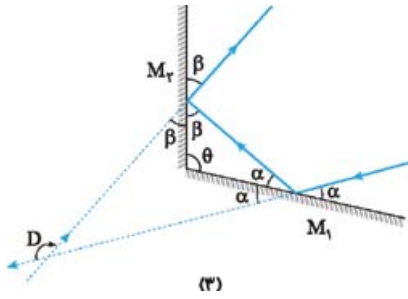


$$\begin{cases} \beta + r_2 = 90^\circ \\ \beta + \alpha = 90^\circ \end{cases} \Rightarrow \alpha = r_2$$

پس پرتوی تابیده به آینه M_1 و پرتوی بازتابیده از آینه M_2 با هم موازی اند و با توجه به جهت مخالف حرکت پرتوها، با هم زاویه 180° می سازند:

$$D = 180^\circ$$

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

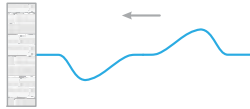


$$\begin{cases} \alpha + \beta + \theta = 180^\circ \Rightarrow \alpha + \beta = 180^\circ - \theta \quad (I) \\ D = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta) \quad (II) \end{cases} \xrightarrow{(I), (II)} D = 360^\circ - 2\theta$$

ما از موارد اثبات شده 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 اندازه‌زوایا را تعیین کنیم تا به خواسته تست برسیم.

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

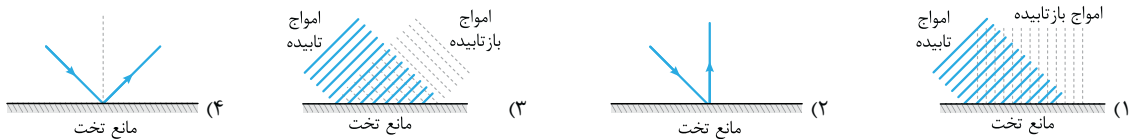


۱۹۵۳- بخشی از یک موج عرضی مانند شکل مقابل، در جهت نشان داده شده در حال انتشار در یک طناب کشیده شده است. کدام یک از شکل‌های زیر بازتاب این موج از انتهای ثابت تکیه‌گاه را به درستی نشان می‌دهد؟ (کتاب درسی)

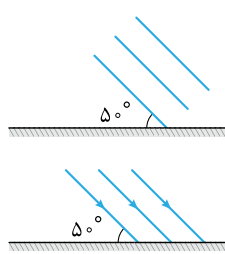


(کتاب درسی)

۱۹۵۴- کدام شکل نمودار پرتویی بازتاب یک موج تخت از یک مانع تخت را نشان می‌دهد؟

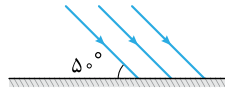


۱۹۵۵- شکل روبه‌رو، جبهه‌های موج تختی را نشان می‌دهد که بر سطح مانع تختی فرود آمده‌اند. زاویه بازتاب موج از سطح مانع و زاویه بین جبهه‌های موج فرودی و بازتابیده از مانع به ترتیب از راست به چپ چند درجه است؟



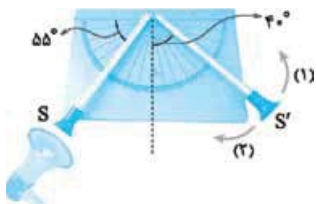
- (۱) ۸۰، ۴۰
- (۲) ۵۰، ۴۰
- (۳) ۸۰، ۵۰
- (۴) ۵۰، ۵۰

۱۹۵۶- شکل روبه‌رو، پرتوهای موجی را نشان می‌دهد که بر سطح مانع تختی فرود آمده‌اند. زاویه بازتاب پرتوها از سطح مانع و زاویه انحراف پرتوها پس از بازتاب از سطح مانع به ترتیب از راست به چپ چند درجه است؟



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

۱۹۵۷- در آزمایش شکل مقابل یک منبع تولید صوت در دهانه لوله S قرار دارد. لوله S' را به ترتیب چند درجه و در کدام جهت بچرخانیم تا صوت دریافتی توسط شنونده‌ای که در دهانه لوله S' قرار دارد، با بیشترین بلندی ممکن شنیده شود؟ (کتاب درسی)



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

۱۹۵۸- عمق یاب یک کشتی یک موج فراصوتی به سوی کف دریا می‌فرستد و زمان بازگشت پژواک را می‌سنجد. اگر در محلی تأخیر زمانی از کف دریا ۴/۰ 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

۱۹۵۹- شخصی بین دو صخره قائم و موازی ایستاده است و فاصله‌اش از صخره 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. فاصله بین دو صخره چند متر است؟ (تهری ۹۸)

- (۱) ۱۳۶۰
- (۲) ۱۱۹۰
- (۳) ۱۰۲۰
- (۴) ۸۵۰

۱۹۶۰- صوت حاصل از یک چشمه ساکن، در مدت ۴/۰ ثانیه به یک دیوار برخورد کرده و به محل چشمه برمی‌گردد. اگر بسامد چشمه صوت ۴۰ کیلوهرتز و طول موج ۸/۷۵ میلی‌متر باشد، فاصله چشمه صوت تا دیوار چند متر است؟ (تهری ۹۵)

- (۱) ۳۵
- (۲) ۷۰
- (۳) ۱۴۰
- (۴) ۱۷۵

۱۹۶۱- اتومبیلی با تندی ثابت ۱۰۸ km/h روی خط راست به صخره قائمی نزدیک می‌شود. در لحظه‌ای که فاصله اتومبیل از صخره برابر ۱۸۰ m است، راننده بوق می‌زند. اگر تندی انتشار صوت در هوای محیط ۳۳۰ m/s باشد، چند ثانیه بعد از این لحظه راننده صدای پژواک بوق را می‌شنود؟

- (۱) ۰/۵
- (۲) ۶/۱۱
- (۳) ۱
- (۴) ۱۲/۱۱



۱۹۶۲- 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)

- ۸۵ (۱) ۱۷۰ (۲) ۸۵۰ (۳) ۱۷۰۰ (۴)

۱۹۶۳- 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 150 m 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)

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

۱۹۶۴- در کدام یک از موارد زیر از مکان‌یابی پژواکی امواج فراصوت به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود؟
(۱) میکروفون سهموی (۲) دستگاه لیتوتریپسی
(۳) تعیین تندی خودروها (۴) تعیین تندی شارش خون (گویچه‌های قرمز) در رگ‌ها
(تهری ۹۹ ■ کتاب درسی)

۱۹۶۵- در کدام موارد زیر، از امواج مکانیکی برای مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود؟
(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
(کتاب درسی)

۱۹۶۶- کدام یک از عبارات‌های زیر در مورد بازتاب نادرست است؟
(۱) وقتی یک دسته پرتوی موازی به صورت پخشنده بازتابیده می‌شود، در هر بازتاب، هم‌چنان زاویه‌های تابش و بازتاب با هم برابرند و در یک صفحه قرار دارند.
(۲) وقتی یک باریکه لیزر را به دیوار می‌تابانیم، به علت بازتاب پخشنده، ناظرهای مختلف نقطه رنگی روی دیوار را می‌بینند.
(۳) در بازتاب نامنظم برای یک دسته پرتوی موازی نور، زاویه بازتاب همه پرتوها برابر است.
(۴) دلیل دیدن اشیا توسط چشم، بازتاب نامنظم نور از سطح اشیا است.

۱۹۶۷- ابعاد ناهمواری‌های سطح یک کاغذ 0.2 mm و ابعاد ناهمواری‌های سطح یک آینه $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 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

۱۹۶۸- در یک آینه تخت، زاویه بین راستای پرتوی تابش و بازتابش $\frac{1}{4}$ زاویه بین پرتوی تابش و سطح آینه است. زاویه تابش چند درجه است؟
(ریاضی ۸۶ ■ قارج) ۱۰ (۱) ۱۸ (۲) ۲۰ (۳) ۳۶ (۴)

۱۹۶۹- پرتویی با زاویه تابش i به سطح یک آینه تخت برخورد می‌کند. اگر زاویه انحراف پرتو در بازتاب از سطح آینه، 6 برابر زاویه بازتاب از سطح آینه باشد، i چند درجه است؟

- ۱۰ (۱) ۱۵ (۲) ۲۰ (۳) ۲۲/۵ (۴)

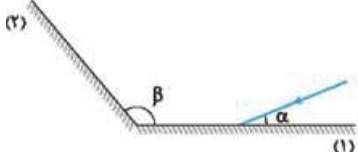
۱۹۷۰- با ثابت نگاه‌داشتن پرتوی تابش، آینه را 30° دوران می‌دهیم، در نتیجه زاویه بین پرتوهای تابش و بازتاب، 4 برابر می‌شود. زاویه تابش اولیه چند درجه بوده است؟

- ۱۰ (۱) ۱۵ (۲) ۲۰ (۳) ۳۰ (۴)

۱۹۷۱- پرتوی نوری با زاویه تابش 30° درجه به یک آینه تخت می‌تابد و بعد از بازتاب از آن به آینه تخت دیگر برخورد می‌کند. اگر دو آینه با هم زاویه 45° درجه بسازند، زاویه بازتاب از آینه دوم چند درجه است؟
(تهری ۹۷ ■ قارج)

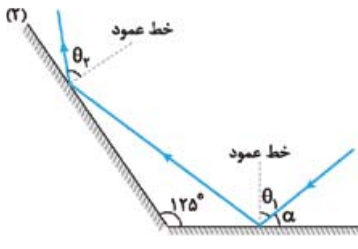
- ۱۵ (۱) ۲۰ (۲) ۲۵ (۳) ۳۰ (۴)

۱۹۷۲- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری تحت زاویه α به آینه (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینه (۲) می‌تابد. پرتوی بازتابیده از آینه (۲) چه زاویه‌ای با سطح آن آینه می‌سازد؟
(ریاضی ۹۹ ■ قارج)



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

۱۹۷۳- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری تحت زاویه α به آینه تخت (۱) و پس از بازتاب به آینه تخت (۲) می‌تابد. اگر $15^\circ = \theta_2 - \theta_1$ باشد، زاویه α چند درجه است؟
(تهری ۱۳۰۱ ■ کنکور میسر)



- (۱) ۲۰
(۲) ۲۵
(۳) ۳۰
(۴) ۳۵

۱۹۷۴- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینه (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینه (۲) می‌تابد و در ادامه مسیرش دوباره از

آینه (۲) بازتاب می‌شود. زاویه بازتاب آینه (۲) در دومین بازتاب چند درجه است؟

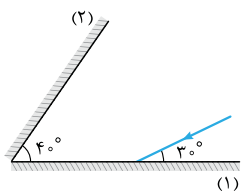
(تقریبی ■ ۹۸ خارج)

۶۰ (۱)

۵۰ (۲)

۴۰ (۳)

۳۰ (۴)



۱۹۷۵- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری تحت زاویه 30° به آینه تخت (۱) می‌تابد و پس از بازتاب به آینه تخت (۲)

می‌تابد. اگر در دومین بازتاب از آینه (۱) پرتوی نور موازی آینه (۲) شود، زاویه α چند درجه است؟

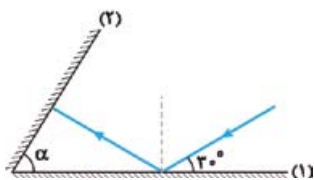
(تقریبی ■ ۱۳۰۰)

۳۰ (۱)

۴۰ (۲)

۵۰ (۳)

۶۰ (۴)



۱۹۷۶- در شکل مقابل زاویه α چند درجه است و اگر با چرخش اندک پرتوی (۱) در صفحه شکل و حول نقطه I_1

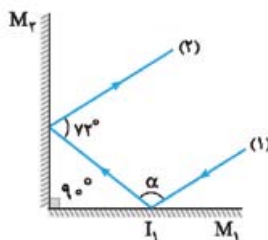
زاویه α کاهش یابد، راستای پرتوهای (۱) و (۲) در وضعیت جدید الزاماً

(۱) موازی هستند.

(۲) ۹۸، یکدیگر را قطع می‌کنند.

(۳) ۱۰۸، موازی هستند.

(۴) ۱۰۸، یکدیگر را قطع می‌کنند.



۱۹۷۷- مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی SI پس از تابش از آینه‌های تخت در مسیر I'R بازتاب می‌شود. اندازه زاویه β چند

(ریاضی ■ ۹۲)

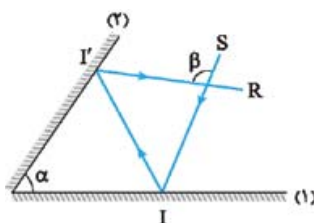
برابر زاویه α است؟

۱ (۱)

۲ (۲)

$\frac{3}{2}$ (۳)

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



۱۹۷۸- در شکل مقابل، امتداد پرتوی نور بازتابیده از آینه M_1 با امتداد پرتوی SI، زاویه چند درجه می‌سازد؟

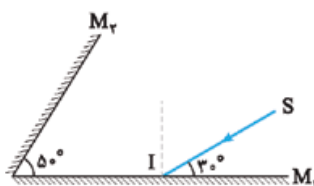
(تقریبی ■ ۱۴۰۰ خارج)

۴۰ (۱)

۷۰ (۲)

۱۰۰ (۳)

۱۱۰ (۴)



۱۹۷۹- در شکل مقابل، پرتوی SI بر سطح آینه M_1 تابیده است. زاویه بین پرتوی خروجی از مجموعه و پرتوی SI

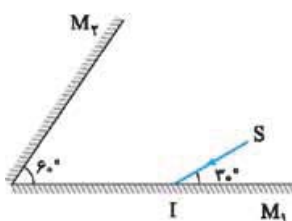
چند درجه است؟

۶۰ (۱)

۱۲۰ (۲)

۱۸۰ (۳)

۲۴۰ (۴)



۱۹۸۰- مطابق شکل مقابل، پرتوی نور SI به آینه (۱) می‌تابد و پس از بازتاب از آینه (۲)، دوباره به آینه (۱) می‌تابد.

(تقریبی ■ ۹۸)

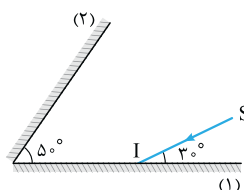
امتداد پرتوی بازتاب نهایی با امتداد پرتوی SI، زاویه چند درجه می‌سازد؟

۱۴۰ (۲)

۱۲۰ (۱)

۱۸۰ (۴)

۱۶۰ (۳)



۱۹۸۱- مطابق شکل مقابل، پرتوی SI با زاویه تابش 40° بر آینه (۱) می‌تابد. این پرتو پس از بازتاب‌های متوالی،

آینه‌ها را ترک می‌کند. آخرین زاویه بازتاب چند درجه است؟ (سطح آینه‌های تخت، به اندازه کافی بزرگ فرض شود).

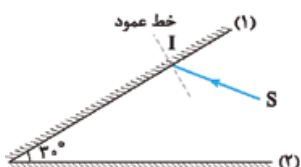
(تقریبی ■ ۱۴۰۰ خارج)

۶۰ (۲)

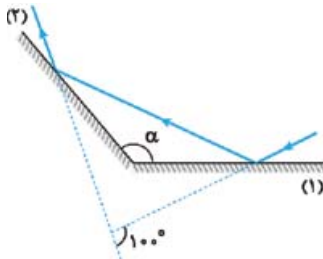
۵۰ (۱)

۸۰ (۴)

۷۰ (۳)

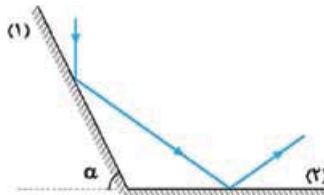


۱۹۸۲- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینه (۱) می‌تابد و پس از بازتاب، به آینه (۲) برخورد می‌کند. اگر امتداد پرتوی تابش آینه (۱) با امتداد پرتوی بازتاب آینه (۲) زاویه 100° بسازد، α چند درجه است؟ (ریاضی ■ ۸۸ قارج)



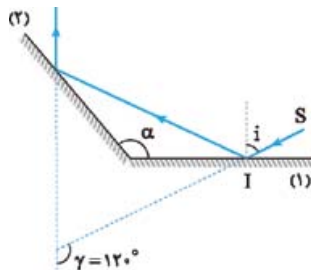
- (۱) 100°
- (۲) 120°
- (۳) 130°
- (۴) 140°

۱۹۸۳- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری به آینه تخت (۱) می‌تابد و در نهایت از آینه تخت (۲) بازتاب می‌شود. پرتوی تابش به آینه (۱) با پرتوی بازتابش از آینه (۲) چه زاویه‌ای می‌سازد؟ (تبری ■ ۹۶ قارج)



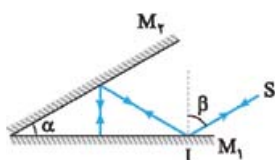
- (۱) α
- (۲) 2α
- (۳) $180 - \alpha$
- (۴) $90 + \alpha$

۱۹۸۴- مطابق شکل روبه‌رو، پرتوی SI، تحت زاویه تابش i به آینه تخت (۱) می‌تابد. زاویه بین پرتوی SI با پرتوی بازتاب آینه (۲)، $\gamma = 120^\circ$ است. اگر زاویه i ، 20° افزایش یابد، γ چه تغییری می‌کند؟ (ریاضی ■ ۹۹)



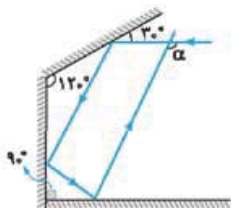
- (۱) 40° افزایش می‌یابد.
- (۲) 20° افزایش می‌یابد.
- (۳) 20° کاهش می‌یابد.
- (۴) ثابت می‌ماند.

۱۹۸۵- 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؟



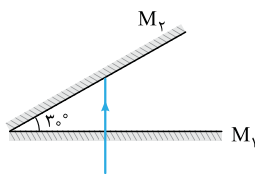
- (۱) $\alpha = \beta$
- (۲) $\alpha = 2\beta$
- (۳) $\beta = 2\alpha$
- (۴) $\alpha + \beta = 90^\circ$

۱۹۸۶- در شکل روبه‌رو زاویه α چند درجه است؟ (تبری ■ ۹۵)



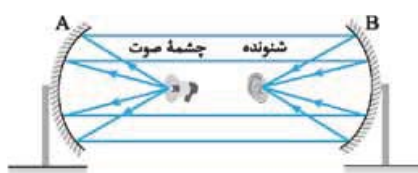
- (۱) 110°
- (۲) 120°
- (۳) 130°
- (۴) 150°

۱۹۸۷- دو آینه تخت با طول زیاد، مطابق شکل مقابل، با هم زاویه 30° می‌سازند. در آینه M_1 روزنه‌ای ایجاد شده و باریکه نور به طور عمود بر آینه M_1 از آن می‌گذرد. این نور چند بار در برخورد به آینه‌ها بازتاب خواهد شد؟ (ریاضی ■ ۹۴ قارج)



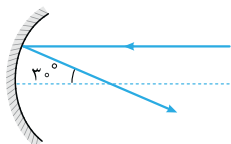
- (۱) ۱
- (۲) ۲
- (۳) ۳
- (۴) ۴

۱۹۸۸- دو سطح کاو مشابه با فاصله کانونی 20 cm مطابق شکل روبه‌رو در فاصله ۱ متری از هم قرار دارند. چشمه صوت در کانون سطح A قرار دارد و صوت آن با بیشترین شدت ممکن توسط شنونده شنیده می‌شود. فاصله شنونده از چشمه چند سانتی‌متر است؟



- (۱) 20
- (۲) 40
- (۳) 60
- (۴) 80

۱۹۸۹- پرتوی مطابق شکل مقابل، موازی با محور اصلی به سطح کاو آینه‌ای می‌تابد. به ترتیب از راست به چپ زاویه تابش و انحراف پرتو چند درجه است؟



- (۱) $30^\circ, 15^\circ$
- (۲) $30^\circ, 30^\circ$
- (۳) $150^\circ, 15^\circ$
- (۴) $150^\circ, 30^\circ$

دروس ۶ شکست 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.

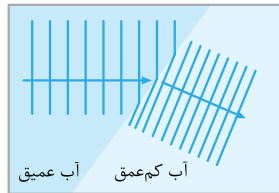


نمونه ۱: در شکل مقابل، دو طناب نازک و ضخیم به هم متصل‌اند و تپی در طناب نازک ایجاد شده است. بخشی از تپ از طناب ضخیم عبور می‌کند و بخشی از آن به طور وارونه برمی‌گردد. بسامد موج‌های جدید با موج اولیه برابر است. از طرفی چون چگالی خطی جرم طناب ضخیم، بیشتر از طناب نازک است، تندی انتشار موج در طناب ضخیم و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

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

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

شکست موج: اگر موجی که در محیط‌های دو یا سه بعدی 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 موج تغییر می‌کند.

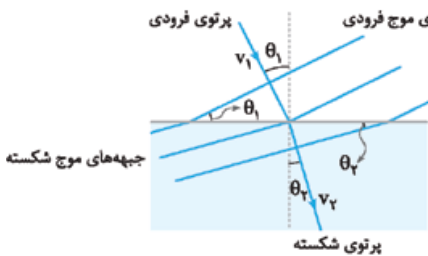


نمونه ۲: یک تیغه شیشه‌ای ضخیم را در گوشه‌ای از یک تشت موج قرار می‌دهیم به طوری که عمق آب در بالای شیشه به طرز محسوسی کم‌تر از عمق آب در جاهای دیگر تشت باشد. در همین حال امواج تختی را بر سطح آب‌های عمیق‌تر ایجاد می‌کنیم. زمانی که امواج به آب‌های کم‌عمق وارد می‌شوند، بسامد آن‌ها تغییر نمی‌کند، اما تندی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

قانون شکست عمومی

مطابق شکل مقابل، اگر موج به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگری شود، در لحظه عبور از مرز دو محیط تغییر مسیر می‌دهد. زاویه پرتوی فرودی با خط عمود بر مرز دو محیط (زاویه جبهه‌های موج فرودی با مرز دو محیط) را «زاویه تابش» (θ_1) و زاویه پرتوی شکسته با خط عمود بر مرز دو محیط (زاویه جبهه‌های موج شکسته با مرز دو محیط) را «زاویه شکست» (θ_2) می‌نامند. در شکل مقابل θ_1 را با θ_2 و θ_1 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، رابطه مقابل برقرار است:

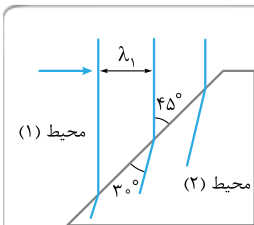
$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



$$v_2 > v_1 \Rightarrow \theta_2 > \theta_1$$

$$v_2 < v_1 \Rightarrow \theta_2 < \theta_1$$

اگر تندی موج در اثر تغییر محیط افزایش یابد، زاویه شکست بزرگ‌تر از زاویه تابش می‌شود؛ و اگر تندی موج در اثر تغییر محیط کاهش یابد، زاویه شکست کوچک‌تر از زاویه تابش می‌شود؛



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؟

$$\frac{\sqrt{2}}{2} \quad (۱)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (۲)$$

$$2 \quad (۳)$$

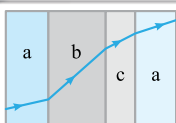
$$\sqrt{2} \quad (۴)$$

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

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

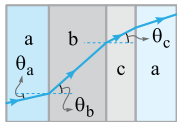
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{1/2}{1/\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

طبق قانون شکست عمومی داریم:



تست شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیه **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.)

$$v_b > v_c > v_a \quad (۴) \quad v_b > v_a > v_c \quad (۳) \quad v_a > v_c > v_b \quad (۲) \quad v_a > v_b > v_c \quad (۱)$$



پاسخ گزینه ۲: هر چه زاویه 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 ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) به تندی نور در یک محیط را ضریب شکست آن محیط می‌گویند و آن را با n نشان می‌دهند:

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

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

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

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

نکته ۲: تندی نور در خلأ بیشینه و برابر $v = c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ است؛ بنابراین، ضریب شکست خلأ کم‌ترین مقدار ممکن و برابر ۱ است:

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

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

تست اگر ضریب شکست آب $\frac{4}{3}$ و تندی نور در آب 225000 km/s باشد، تندی نور در شیشه چند کیلومتر بر ثانیه است؟ (ضریب شکست شیشه $\frac{3}{2}$ است.)

$$\frac{1}{3} \times 10^5 \text{ (۱)} \quad 4 \times 10^5 \text{ (۲)} \quad 2 \times 10^5 \text{ (۳)} \quad \frac{1}{4} \times 10^5 \text{ (۴)}$$

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

$$\frac{v_g}{v_w} = \frac{n_w}{n_g} \Rightarrow \frac{v_g}{225000} = \frac{2}{3} \Rightarrow v_g = 225000 \times \frac{2}{3} = 150000 \text{ km/s} \Rightarrow v_g = 2 \times 10^5 \text{ km/s}$$

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:

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

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:

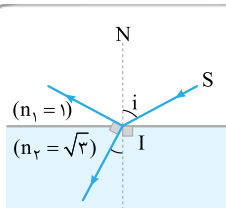
$$n_2 > n_1 \Rightarrow \theta_2 < \theta_1$$

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:

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

$$D = |\theta_2 - \theta_1|$$

زاویه انحراف پرتوی (D) برابر بزرگی تفاضل زاویه‌های تابش و شکست است:



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، زاویه تابش (i) چند درجه است؟ (ریاضی ۱۶)

$$\begin{matrix} 15 & (۱) \\ 30 & (۲) \\ 45 & (۳) \\ 60 & (۴) \end{matrix}$$

پاسخ گزینه ۲: 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:

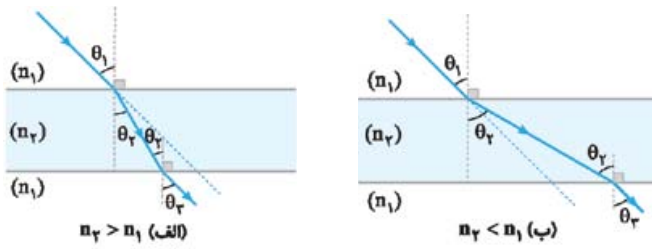
$$i + r = 90^\circ$$

از طرفی، طبق قانون اسنل:

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

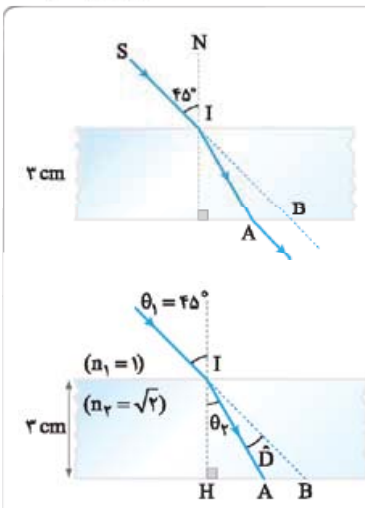
تیغه متوازی‌السطوح

تیغه 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 تیغه شیشه‌ای با سطوح تخت موازی را می‌توان یک تیغه متوازی‌السطوح محسوب کرد. اگر یک پرتو از تیغه 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.)

$$\begin{cases} n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \\ n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 \end{cases} \Rightarrow n_1 \sin \theta_1 = n_3 \sin \theta_3 \Rightarrow \theta_1 = \theta_3$$



تست در شکل روبه‌رو، پرتوی SI با زاویه تابش 45° ، به سطح یک تیغه شیشه‌ای به ضخامت ۳ cm می‌تابد و در نقطه A از تیغه خارج می‌شود. اگر راستای SI در نقطه B از شیشه خارج شود، AB چند سانتی‌متر است؟ ($\sqrt{2}$ = ضریب شکست تیغه شیشه‌ای) (ریاضی ۹۱)

$$\begin{aligned} & 3 - \sqrt{3} \quad (2) \\ & 2\sqrt{3} \quad (4) \end{aligned} \qquad \begin{aligned} & \sqrt{3} \quad (1) \\ & 1 + \sqrt{3} \quad (3) \end{aligned}$$

پاسخ گزینه ۲ کامل براساس شکل زیر، زاویه شکست پرتو در محیط (۲) را به دست می‌آوریم:

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

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

گام دوم در مثلث قائم‌الزاویه IHA می‌توان نوشت:

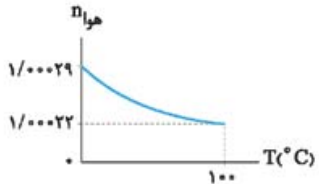
$$\tan \theta_r = \frac{AH}{IH} \Rightarrow \tan 30^\circ = \frac{AH}{3} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{AH}{3} \Rightarrow AH = \sqrt{3} \text{ cm}$$

گام سوم در مثلث قائم‌الزاویه IHB می‌توان نوشت:

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

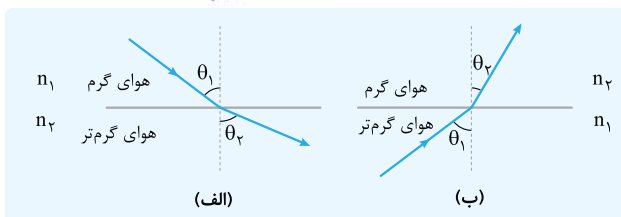
$$AB = BH - AH \Rightarrow AB = (3 - \sqrt{3}) \text{ cm}$$

گام چهارم طول AB به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:



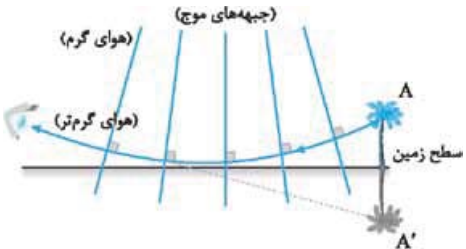
سراب

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 لایه هوای گرم وارد لایه 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 گرم‌تر کند ($n_2 > n_1$)، به خط عمود نزدیک می‌شود ($\theta_2 < \theta_1$).

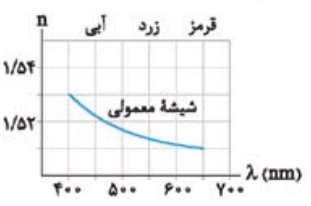
سراب: شکل زیر مدل ساده‌شده‌ای از حرکت یک پرتوی نور در یک روز گرم تابستانی است که نشان می‌دهد پدیده سراب چگونه اتفاق می‌افتد. در یک روز گرم، لایه‌های هوای مجاور سطح زمین گرم‌تر از لایه‌های هوای بالاتر هستند؛ بنابراین ضریب شکست هوا در نزدیکی سطح زمین کم‌تر و تندی نور در این ناحیه بیشتر از مناطق بالاتر است. در نتیجه بخش‌های پایینی جبهه‌های موج سریع‌تر از بخش‌های بالایی حرکت می‌کنند و هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شوند، فاصله 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 شیشه 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 سازنده آن تجزیه می‌شود. به این پدیده «پاشندگی نور» می‌گویند. شکل مقابل نحوه پاشندگی نور مرکب توسط منشور را نشان می‌دهد.



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

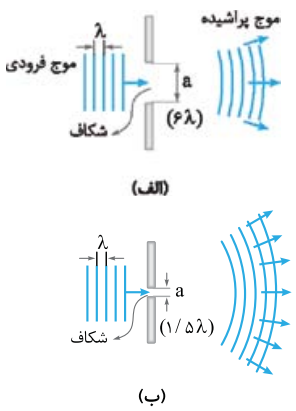
(۱) همگرا (۲) واگرا
(۳) موازی (۴) ابتدا همگرا، سپس واگرا

پاسخ گزینه 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 زاویه شکست پرتوی آبی را با θ_b و زاویه شکست پرتوی قرمز را با θ_r نشان دهیم، داریم:

$$\begin{cases} n_{\text{آبی}} \sin \theta_b = n_{\text{هوا}} \sin \theta_i \\ n_{\text{قرمز}} \sin \theta_r = n_{\text{هوا}} \sin \theta_i \end{cases} \Rightarrow n_{\text{آبی}} \sin \theta_b = n_{\text{قرمز}} \sin \theta_r \xrightarrow{n_{\text{آبی}} > n_{\text{قرمز}}} \sin \theta_b < \sin \theta_r \Rightarrow \theta_b < \theta_r$$

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

پراش



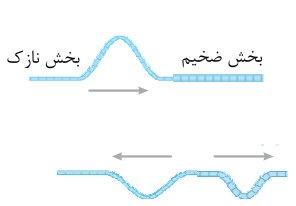
وقتی یک موج تخت به شکاف ایجاد شده در یک مانع یا لبه‌های مانع می‌رسد دوتا اتفاق می‌تواند رقم بخورد:

(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 همه جهت‌ها گسترده می‌شوند.

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

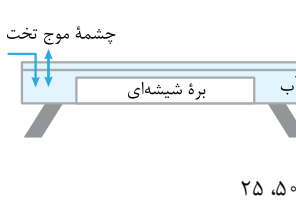
پرسش‌های چهارگزینه‌ای



۱۹۹۰- 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)

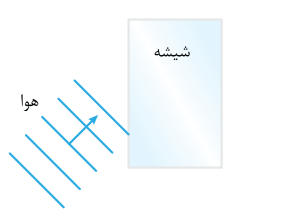
۱۹۹۱- موج عرضی سینوسی از قسمت نازک طناب به قسمت ضخیم آن وارد می‌شود. بسامد و طول موج آن به ترتیب چگونه تغییر می‌کنند؟ (ریاضی ■ ۱۴۰۰ تاراج)

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



۱۹۹۲- در تشتت موج شکل مقابل به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای که با بسامد ۵ Hz کار می‌کند، امواج تختی ایجاد می‌کنیم، به طوری که فاصله بین دو برآمدگی متوالی آن برابر با ۱۰ cm می‌شود. اکنون براهای شیشه‌ای را در کف این تشتت قرار می‌دهیم. اگر تندی امواج در ناحیه کم عمق، ۴/۰ برابر تندی امواج در ناحیه عمیق باشد، به ترتیب تندی و طول موج امواج در ناحیه کم عمق چند سانتی‌متر بر ثانیه و چند سانتی‌متر می‌شود؟ (کتاب درسی ■)

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



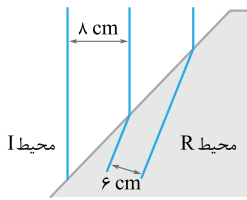
۱۹۹۳- در شکل مقابل، موج نوری فرودی از هوا وارد شیشه می‌شود. بخشی از موج در سطح جدایی دو محیط بازمی‌تابد و بخشی دیگر شکست می‌یابد و وارد شیشه می‌شود. کدام یک از مشخصه‌های زیر برای موج بازتابیده و موج شکست یافته یکسان است؟ (کتاب درسی ■)

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

۱۹۹۴- نوری به طور مایل از هوا به آب می‌تابد. کدام شکل جبهه‌های موج در این دو محیط را به درستی نشان می‌دهد؟

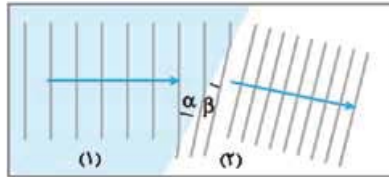


۱۹۹۵- شکل مقابل، جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند. اگر بسامد چشمه موج ۱۰ Hz باشد، با ورود موج از محیط I به محیط R تندی موج چند سانتی‌متر بر ثانیه و چگونه تغییر می‌کند؟



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

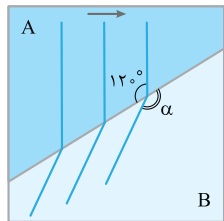
۱۹۹۶- شکل مقابل، ورود موج از محیط (۱) به محیط (۲) را نشان می‌دهد. اگر $\alpha = 37^\circ$ و $\beta = 30^\circ$ باشد، نسبت سرعت انتشار موج در محیط (۱) به سرعت انتشار موج در محیط (۲) چه قدر است؟ $(\cos 37^\circ = 0.8)$



(تقریبی ■ ۱۴۰۰، مشابه ریاضی ۱۳۰۰ قارج)

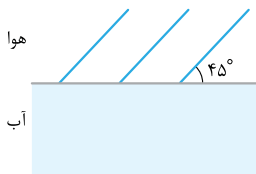
- (۱) $\frac{1/\sqrt{3}}{3}$
(۲) $\frac{5}{6}$
(۳) $\frac{5\sqrt{3}}{8}$
(۴) $\frac{6}{5}$

۱۹۹۷- 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 زاویه α در شکل برابر با است.



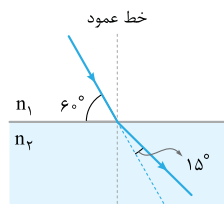
- (۱) A، ۱۳۵
(۲) A، ۱۵۰
(۳) B، ۱۳۵
(۴) B، ۱۵۰

۱۹۹۸- مطابق شکل مقابل جبهه‌های تخت یک موج صوتی از هوا وارد آب شده و پس از ورود به محیط دوم 8° از امتداد انتشار اولیه منحرف می‌شوند. تندی صوت در آب چند متر بر ثانیه است؟ $(\sin 37^\circ = 0.6, \sqrt{2} \approx 1.4)$ و تندی صوت در هوا را 332 m/s در نظر بگیرید.



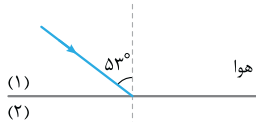
- (۱) ۲۸۸
(۲) ۳۸۴
(۳) ۲۹۴
(۴) ۳۹۲

۱۹۹۹- 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؟



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

۲۰۰۰- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری از هوا به یک محیط شفاف می‌تابد و در ورود به محیط (۲) از راستای اولیه منحرف می‌شود. اگر طول موج نور در محیط دوم، $\frac{1}{8}$ μm از طول موج نور در هوا کم‌تر باشد، بسامد نور چند هرتز است؟ $(\sin 53^\circ = 0.8)$ و سرعت نور در هوا 3×10^8 m/s



(ریاضی ■ ۱۳۰۰)

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

۲۰۰۱- طول موج نور قرمز لیزر هلیوم - نئون در هوا حدود ۶۲۵ nm است، ولی در زجاجیه چشم ۵۰۰ nm است. بسامد این نور بر حسب هرتز و ضریب شکست زجاجیه به ترتیب تقریباً مطابق کدام گزینه است؟ $(c = 3 \times 10^8 \text{ km/s})$

(کتاب درسی ■)

- (۱) $1/25, 4/8 \times 10^{11}$
(۲) $0/8, 4/8 \times 10^{11}$
(۳) $1/25, 4/8 \times 10^{14}$
(۴) $0/8, 4/8 \times 10^{14}$

۲۰۰۲- نوری که طول موج آن در خلأ λ_1 است، وارد محیط شفاف می‌شود و طول موج آن 150 نانومتر تغییر می‌کند. اگر بسامد این نور 5×10^{14} Hz باشد، ضریب شکست این محیط شفاف چه قدر است؟ $(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$

(ریاضی ■ ۱۳۰۲ نوبت اول)

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

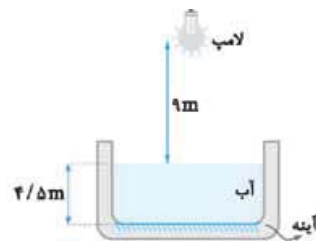
۲۰۰۳- ضریب شکست شیشه نسبت به آب $\frac{9}{8}$ و ضریب شکست الماس نسبت به شیشه برابر $\frac{8}{5}$ است. در مدت زمانی که نور مسافت ۳۶ سانتی‌متر را در آب طی می‌کند، چند سانتی‌متر را در الماس طی می‌کند؟

(تقریبی ■ ۶۵)

- (۱) ۱۵
(۲) ۲۰
(۳) ۴۸
(۴) ۶۴/۸

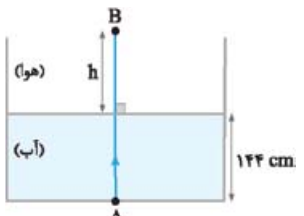
۲۰۰۴- در خلأ، طول موج نور قرمز $\frac{4}{3}$ برابر طول موج نور بنفش است. اگر طول موج نور قرمز در یک محیط شفاف به ضریب شکست n ، با طول موج نور بنفش در آب برابر باشد، n کدام است؟ (ضریب شکست آب $\frac{4}{3}$ است.)

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



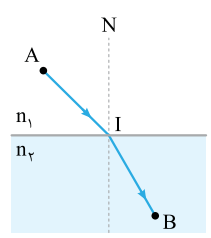
۲۰۰۵- در شکل روبه‌رو، حداقل زمان لازم برای آن که نور لامپ پس از گذشتن از هوا، آب و بازتابش از روی آینه تخت افقی که در کف مخزن نصب شده، دوباره به لامپ برگردد، چند ثانیه است؟ $(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, n_{\text{آب}} = \frac{4}{3})$ (تقریبی \blacksquare ۹۳ قارچ)

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



۲۰۰۶- مطابق شکل، یک پرتوی نور به صورت قائم از نقطه A در کف ظرف آبی به طرف بالا می‌تابد و به نقطه B هوا می‌رسد. اگر در مسیر AB، مدت زمانی که این پرتو از آب می‌گذرد، با مدت زمان 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

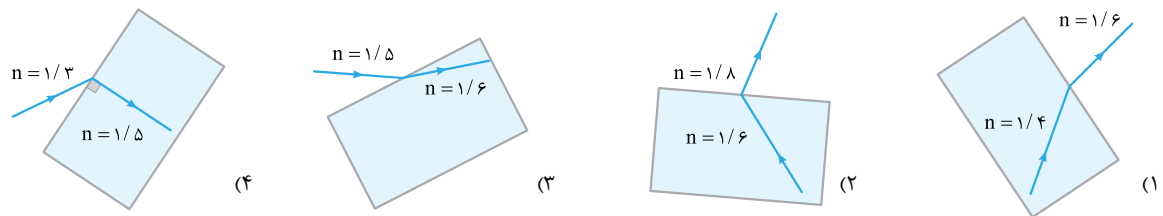


۲۰۰۷- در شکل روبه‌رو، پرتویی از نقطه A در محیطی به ضریب شکست n_1 ، به نقطه B در محیط دوم که ضریب شکست آن n_2 است، می‌رسد. اگر $AI = IB = L$ بوده و تندی نور در محیط اول برابر v_1 باشد، زمان رسیدن نور از A تا B کدام است؟ (ریاضی \blacksquare ۹۳)

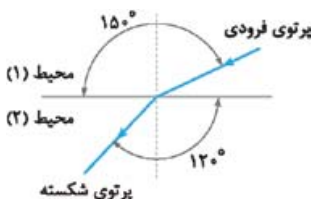
- (۱) $\frac{L}{v_1} (1 + \frac{n_2}{n_1})$
 (۲) $\frac{L}{v_1} (1 + \frac{n_1}{n_2})$
 (۳) $\frac{2L}{v_1} (1 - \frac{n_2}{n_1})$
 (۴) $\frac{2L}{v_1} (1 - \frac{n_1}{n_2})$

(کتاب درسی \blacksquare)

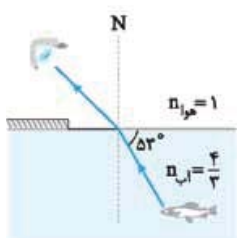
۲۰۰۸- کدام یک از شکل‌های زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



۲۰۰۹- 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.

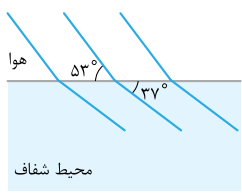


- (۱) $\sqrt{3}, 2\sqrt{3}$
 (۲) $\sqrt{3}, \frac{2\sqrt{3}}{3}$
 (۳) $\frac{\sqrt{3}}{3}, 2\sqrt{3}$
 (۴) $\frac{\sqrt{3}}{3}, \frac{2\sqrt{3}}{3}$



۲۰۱۰- مطابق شکل، پرتوی نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد، تحت زاویه 53° به مرز آب - هوا برخورد کرده است. زاویه شکست این پرتو در هوا چند درجه است؟ $(n_{\text{آب}} = \frac{4}{3} \text{ و } \sin 37^\circ = \frac{3}{5})$ (کتاب درسی \blacksquare)

- (۱) 30°
 (۲) 37°
 (۳) 45°
 (۴) 53°



۲۰۱۱- شکل مقابل، جبهه‌های موج نور تختی را نشان می‌دهد که از هوا وارد محیط شفاف می‌شود. ضریب شکست این محیط شفاف چه قدر است؟ $(\sin 37^\circ = \frac{3}{5})$

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

۲۰۱۲- پرتوی تک‌رنگی با زاویه تابش 53° از هوا به آب می‌تابد. این پرتو در ضمن ورود به آب چند درجه نسبت به راستای اولیه خود منحرف می‌شود؟

(تجربی ۹۰ ■ خارج)

$$(\sin 53^\circ = 0/8, n_{\text{آب}} = \frac{4}{3})$$

۳۷ (۴)

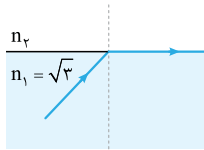
۳۰ (۳)

۱۶ (۲)

۱۵ (۱)

۲۰۱۳- در شکل مقابل، پرتوی نور در ورود از محیط $n_1 = \sqrt{3}$ به محیط n_2 ، به اندازه 30° درجه منحرف می‌شود. تندی نور در محیط n_2 چند متر بر ثانیه است؟ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

(ریاضی ۱۱ ■ خارج، مشابه تجربی ۸۱)



$$\sqrt{3} \times 10^8 \text{ (۲)}$$

$$1/5 \times 10^8 \text{ (۱)}$$

$$\frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^8 \text{ (۴)}$$

$$2 \times 10^8 \text{ (۳)}$$

۲۰۱۴- پرتوی تک‌رنگی از هوا وارد محیطی به ضریب شکست $1/6$ می‌شود. اگر زاویه تابش، ۲ برابر زاویه انحراف باشد، زاویه تابش چند درجه بوده است؟

$$(\sin 37^\circ = 0/6)$$

۷۴ (۴)

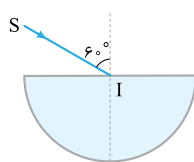
۶۰ (۳)

۳۷ (۲)

۳۰ (۱)

۲۰۱۵- مطابق شکل، پرتوی تک‌رنگ SI از هوا به مرکز نیم‌استوانه شفافی به ضریب شکست $\sqrt{3/4}$ می‌تابد و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. پرتوی خروجی نسبت به پرتوی SI چند درجه منحرف شده است؟

(تجربی ۷۵ ■)



۱۵ (۲)

صفر (۱)

۴۵ (۴)

۳۰ (۳)

۲۰۱۶- تندی انتشار نور در یک محیط شفاف نیمی از تندی انتشار نور در هوا است. اگر زاویه تابش در هوا را از صفر تا 90° تغییر دهیم، زاویه انحراف در این مایع شفاف حداکثر چند درجه می‌شود؟

۹۰ (۴)

۶۰ (۳)

۴۵ (۲)

۳۰ (۱)

۲۰۱۷- ضریب شکست یک محیط شفاف نسبت به هوا $\sqrt{2}$ است. یک پرتوی نور تک‌رنگ، تحت زاویه i از هوا بر سطح این محیط شفاف می‌تابد و قسمتی از آن بازتابش و قسمتی دیگر شکست پیدا می‌کند. اگر زاویه شکست 30° باشد، زاویه بین پرتوی بازتاب و پرتوی شکست چند درجه است؟

(ریاضی ۹۰ ■ خارج)

۱۲۰ (۴)

۱۰۵ (۳)

۹۰ (۲)

۷۵ (۱)

۲۰۱۸- زاویه 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)

۶۰ (۴)

۴۵ (۳)

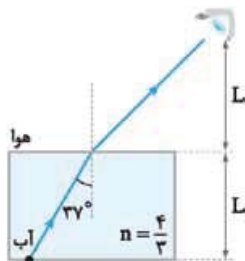
۳۷ (۲)

۳۰ (۱)

۲۰۱۹- 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؟

$$(\sin 37^\circ = 0/6 \text{ و } n_{\text{آب}} = \frac{4}{3})$$



۴ (۱)

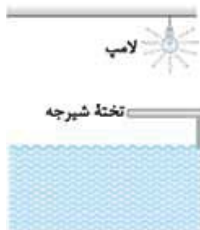
۳ (۲)

۱۶ (۳)

۱ (۴)

(تجربی ۸۷ ■ خارج)

۲۰۲۰- در شکل مقابل، سایه تخته شیرجه در کف استخر، هنگام پر بودن استخر در مقایسه با هنگام خالی بودن آن چگونه است؟



(۱) کوتاه‌تر

(۲) بلندتر

(۳) برابر هم

(۴) بستگی به فاصله تخته تا سطح آب دارد.

۲۰۲۱- طول یک تیر عمودی که پایه آن در کف یک استخر قرار دارد، $2/4 \text{ m}$ است که نصف آن از آب بیرون می‌ماند. در لحظه‌ای که آفتاب با زاویه 37° نسبت به افق می‌تابد، طول سایه‌ای که از تیر به کف استخر می‌افتد، چند متر است؟ ($\sin 37^\circ = 0/6, n_{\text{آب}} = \frac{4}{3}$)

(کتاب فیزیک هالیدی ■)

۳/۲ (۴)

۲/۵ (۳)

۲/۴ (۲)

۱/۸ (۱)

۲۰۲۲- 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 ■)

(۴) نزدیک‌تر، نزدیک‌تر

(۳) نزدیک‌تر، دورتر

(۲) دورتر، نزدیک‌تر

(۱) دورتر، دورتر

۲۰۲۳- 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)

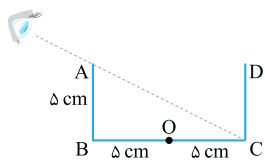
(۲) کوتاه‌تر و از سطح آب دورتر

(۱) بلندتر و از سطح آب دورتر

(۴) بلندتر و به سطح آب نزدیک‌تر

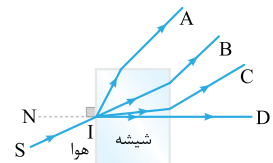
(۳) کوتاه‌تر و به سطح آب نزدیک‌تر

۲۰۲۴- مطابق شکل، چشم ناظر در موقعیتی قرار دارد که فقط می تواند نقطه C از دیواره BC را ببیند. اگر ظرف را پر از مایعی به ضریب شکست n کنیم، در این صورت ناظر قادر به دیدن نقطه O در وسط BC می شود. n کدام است؟



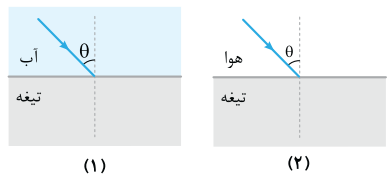
- (اولین المپیاد فیزیک ایران) $\frac{\sqrt{10}}{4}$ (۲) $\frac{2\sqrt{10}}{5}$ (۱)
- $\frac{\sqrt{10}}{2}$ (۴) $\frac{\sqrt{2}}{5}$ (۳)

۲۰۲۵- پرتوی نور تک رنگ SI، از هوا بر شیشه می تابد. پرتوی شکست کدام است؟



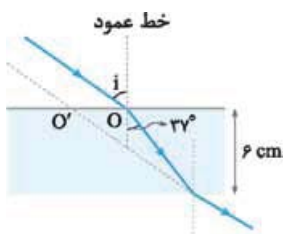
- (تهری ۹۰) A (۱) B (۲) C (۳) D (۴)

۲۰۲۶- مطابق شکل های مقابل پرتوی نور تک رنگی با زاویه تابش یکسان θ در حالت (۱) از آب و در حالت (۲) از هوا به تیغه متوازی السطوحی می تابد. اگر زاویه شکست پرتو را با θ' و مدت زمانی که طول می کشد تا پرتوی شکست از تیغه خارج شود را t نشان دهیم، کدام گزینه درست است؟ (زیروندهای ۱ و ۲ مربوط به حالت های (۱) و (۲) است، مبدأ زمان را لحظه ورود پرتو به تیغه در نظر بگیرید، $n_{\text{آب}} > n_{\text{تیغه}}$)



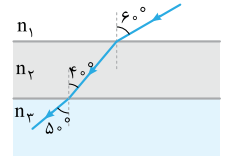
- (۱) $t_1 = t_2, \theta'_1 < \theta'_2$ (۲) $t_1 = t_2, \theta'_1 > \theta'_2$ (۱)
- (۲) $t_1 > t_2, \theta'_1 < \theta'_2$ (۴) $t_1 > t_2, \theta'_1 > \theta'_2$ (۳)

۲۰۲۷- پرتوی نوری، مطابق شکل مقابل از هوا به یک تیغه متوازی السطوح می تابد و پس از شکست در محیط شفاف، دوباره وارد هوا می شود. اگر امتداد پرتوی خروجی در O' به تیغه برخورد کند و $OO' = 3/5 \text{ cm}$ باشد، ضریب شکست محیط شفاف چه قدر است؟ ($\sin 37^\circ = 0.6$)



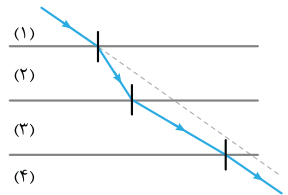
- (ریاضی ۹۹ خارج) $\frac{4}{3}$ (۲) $\frac{5}{4}$ (۱)
- $\frac{5}{3}$ (۴) $\frac{3}{2}$ (۳)

۲۰۲۸- در شکل روبه رو سطح جدایی محیط های شفاف با هم موازی اند. کدام رابطه بین ضریب شکست این محیط ها برقرار است؟



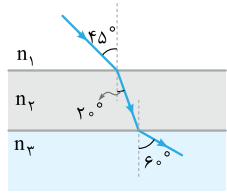
- (تهری ۸۶) $n_3 > n_2 > n_1$ (۲) $n_2 > n_3 > n_1$ (۱)
- $n_3 > n_2 > n_1$ (۴) $n_2 = n_3 > n_1$ (۳)

۲۰۲۹- در شکل مقابل، پرتوی نور از محیط (۱) وارد محیط های شفاف (۲)، (۳) و (۴) شده است. کدام رابطه برای سرعت نور در این محیط ها درست است؟ (پرتوی خروجی موازی با پرتوی ورودی است.)



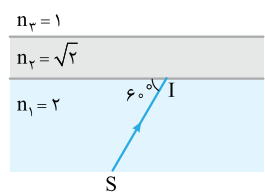
- (تهری ۱۴۰۱ خارج) $\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_3}{v_4}$ (۲) $\frac{v_1}{v_3} = \frac{v_4}{v_2}$ (۱)
- $v_3 < v_1 = v_4 < v_2$ (۴) $v_3 < v_1 = v_4 < v_2$ (۳)

۲۰۳۰- مطابق شکل، پرتوی نوری از محیط شفاف n_1 وارد محیط شفاف n_2 و سپس وارد محیط شفاف n_3 می شود. تندی نور در محیط n_3 چند برابر تندی نور در محیط n_1 است؟



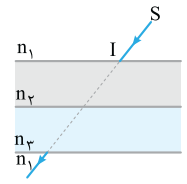
- (تهری ۹۶) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (۲) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ (۱)
- $\frac{\sqrt{2}}{3}$ (۴) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ (۳)

۲۰۳۱- در شکل مقابل، با توجه به ضریب شکست محیط های شفاف، مسیر پرتوی تک رنگ SI به کدام صورت است؟

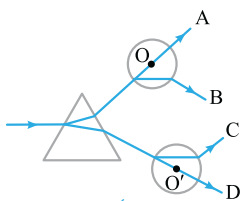
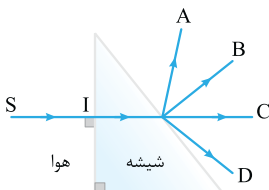
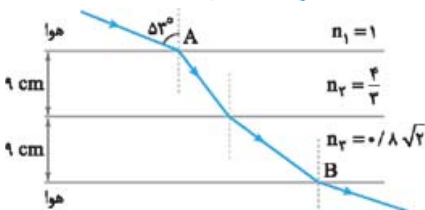
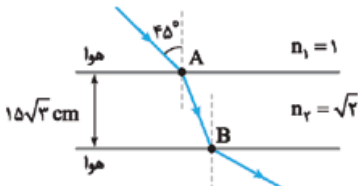
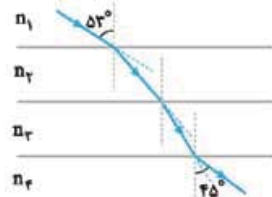
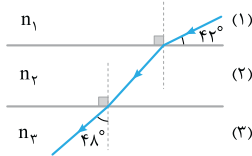


- (۱) $n_3 = 1$ $n_2 = \sqrt{2}$ $n_1 = 2$ (۱) $n_3 = 1$ $n_2 = \sqrt{2}$ $n_1 = 2$ (۲)
- (۲) $n_3 = 1$ $n_2 = \sqrt{2}$ $n_1 = 2$ (۲) $n_3 = 1$ $n_2 = \sqrt{2}$ $n_1 = 2$ (۳)

۲۰۳۲- در شکل مقابل پرتوی SI پس از عبور از محیط های شفاف n_2 و n_3 ، دوباره به محیط شفاف n_1 برمی گردد. اگر راستای پرتو پس از عبور از این دو محیط تغییر نکند، n_3 و n_2 در مقایسه با n_1 چگونه باید باشند؟



- (ریاضی ۶۵) هر دو کوچک تر (۲) هر دو بزرگ تر (۱)
- یکی بزرگ تر و دیگری کوچک تر (۳) الزاماً ضریب شکست هر سه محیط برابر است. (۴)



(کتاب درسی)

۲۰۳۳- 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 $2/5 \times 10^8 \text{ m/s}$ و ضریب شکست محیط (۲)، ۲۵ درصد بیشتر از ضریب شکست محیط (۳) باشد، تندی نور در محیط (۲) به اندازه کیلومتر بر ثانیه از تندی آن در محیط (۱) است.

- (۱) 5×10^8 ، بیشتر
 (۲) 5×10^8 ، کمتر
 (۳) 4×10^8 ، بیشتر
 (۴) 4×10^8 ، کمتر

۲۰۳۴- 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؟ ($\sin 53^\circ = 4/5$, $\sin 45^\circ = 3/5$) (ریاضی ۹۸)

- (۱) $4/3$
 (۲) $6/5$
 (۳) $3/4$
 (۴) $5/6$

۲۰۳۵- مطابق شکل مقابل، پرتوی نوری از هوا وارد محیط شفاف می‌شود و شکست می‌یابد. این پرتو فاصله A تا B را در چند نانوثانیه طی می‌کند؟ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$) (ریاضی ۱۴۰۰)

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

۲۰۳۶- پرتوی نوری مطابق شکل مقابل، از هوا وارد محیط‌های شفاف می‌شود و شکست می‌یابد. این پرتو فاصله A تا B را در چند نانوثانیه طی می‌کند؟ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ = تندی نور در هوا، $\sin 37^\circ = 3/5$) (تجربی ۹۹)

- (۱) $5/6$
 (۲) ۹۶
 (۳) ۹۸
 (۴) $9/6$

۲۰۳۷- در شکل مقابل پرتوی خروجی از منشور مطابق کدام می‌تواند باشد؟

- (۱) A
 (۲) B
 (۳) C
 (۴) D

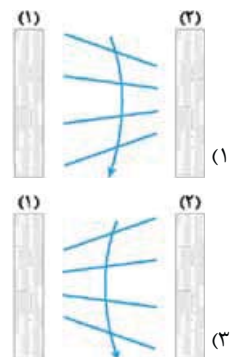
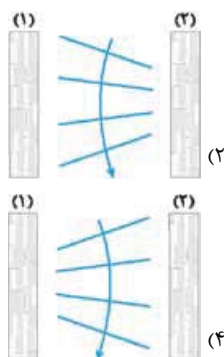
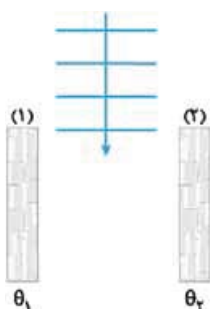
۲۰۳۸- شکل روبه‌رو یک منشور و دو کره شیشه‌ای توپر به مراکز O و O' را نشان می‌دهد که در خلأ فرض شده‌اند. یک پرتوی نور تک‌رنگ بر منشور تابیده است. کدام‌یک از این مسیرها عبور نور را درست نشان می‌دهد؟ (ریاضی ۹۲ قاجار)

- (۱) A
 (۲) B
 (۳) C
 (۴) D

۲۰۳۹- کدام عبارت درباره پدیده 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.

۲۰۴۰- شکل زیر، نمای بالا از سالن بزرگی با دیوارهای قائم بلند (۱) و (۲) را نشان می‌دهد که به ترتیب در دماهای $\theta_1 = 10^\circ \text{C}$ و $\theta_2 = 40^\circ \text{C}$ 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 لبه دیوارها چشم‌پوشی کنید).



۲۰۴۱- 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؟

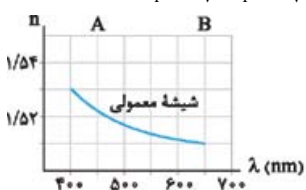
(تجربی ۷۹)

(۴) $v_r < v_v, n_r < n_v$

(۳) $v_r > v_v, n_r < n_v$

(۲) $v_r < v_v, n_r > n_v$

(۱) $v_r > v_v, n_r > n_v$

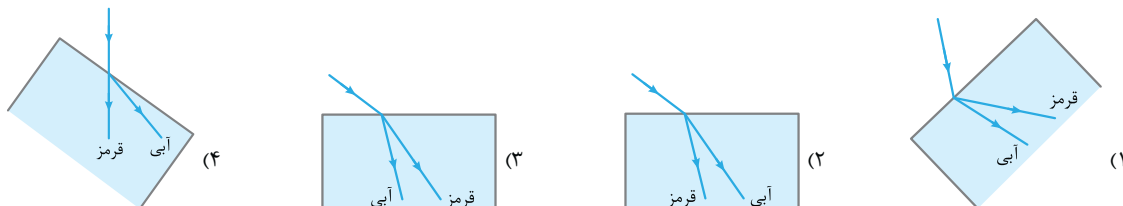


۲۰۴۲- شکل روبه‌رو، نمودار تغییرات ضریب شکست بر حسب طول موج در طیف نور مرئی در شیشه معمولی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، کدام گزینه زیر از لحاظ فیزیکی می‌تواند مدل کیفی پرتوی فرودی شامل نورهای A و B را نشان دهد که از شیشه وارد هوا می‌شوند؟

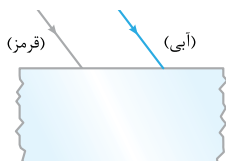


۲۰۴۳- در شکل زیر، پرتوی فرودی که شامل نورهای آبی و قرمز است، از هوا وارد شیشه می‌شود. کدام شکل، شکستی را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟

(ریاضی ۱۳۰، مشابه ریاضی ۹۸)



۲۰۴۴- در شکل مقابل، دو پرتوی موازی قرمز رنگ و آبی رنگ به یک تیغه متوازی‌السطوح می‌تابند. این دو پرتو در درون تیغه و پس از خارج شدن 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

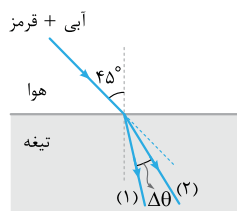
۲۰۴۵- باریکه نوری متشکل از دو پرتوی سبز و زرد را به منشور می‌تابانیم. در داخل منشور زاویه شکست پرتوی بزرگ‌تر و میزان انحراف پرتوی بیشتر است.

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

۲۰۴۶- 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

۲۰۴۷- مطابق شکل مقابل، باریکه نوری متشکل از دو پرتوی قرمز و آبی از هوا با زاویه تابش 45° بر سطح تیغه تختی می‌تابد.

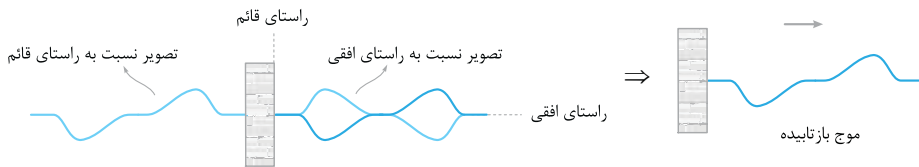


اگر ضریب شکست تیغه برای این پرتوها به ترتیب برابر $\frac{5\sqrt{2}}{6}$ و $\sqrt{2}$ باشد، به ترتیب پرتوی قرمز کدام است و زاویه بین دو پرتوی شکست درون تیغه ($\Delta\theta$) برابر چند درجه است؟ (کتاب درسی ۱۳۰)

- (۱) 7° , (۱)
- (۲) 16° , (۲)
- (۳) 16° , (۱)
- (۴) 7° , (۲)

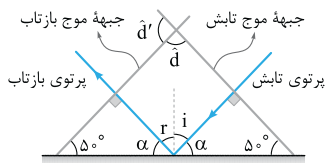
۱۹۵۲- گزینه ۱

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



۱۹۵۴- گزینه ۲ بدون شرح!

۱۹۵۵- گزینه ۳

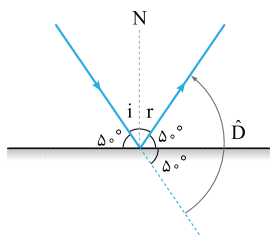


به شکل روبه‌رو توجه کنید. زاویه تابش یا زاویه بازتاب برابر زاویه‌ای است که جبهه‌های موج با مانع می‌سازند.

$$\begin{cases} i + \alpha = 90^\circ \\ 5^\circ + \alpha = 90^\circ \end{cases} \Rightarrow i = 5^\circ \xrightarrow{r=i} r = 5^\circ$$

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، زاویه بین جبهه‌های موج تابیده و بازتابیده خواهد بود.

۱۹۵۶- گزینه ۲



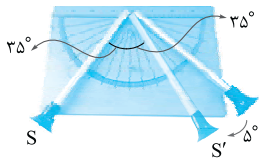
زاویه تابش (یا بازتاب) برابر زاویه‌ای است که پرتوهای تابش (یا بازتاب) با خط عمود بر سطح (N) می‌سازند. این زاویه متمم زاویه‌ای است که پرتوها با سطح مانع می‌سازند.

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

$$\hat{D} = 2 \times 50^\circ = 100^\circ$$

زاویه انحراف را در شکل مقابل با \hat{D} نشان داده‌ایم.

۱۹۵۷- گزینه ۲



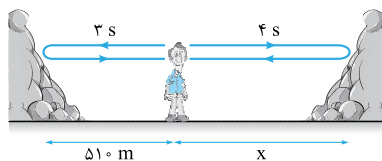
این آزمایش بیانگر برقراری قانون بازتاب عمومی برای امواج صوتی است. برای این که شنونده‌ای که در دهانه S' قرار دارد، صوت را با بیشترین بلندی ممکن بشنود، باید لوله S' در امتداد پرتوی صوت بازتاب‌شده قرار بگیرد. با توجه به این که زاویه تابش پرتوی صوت برابر $90^\circ - 55^\circ = 35^\circ$ است، لوله S' را باید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

۱۹۵۸- گزینه 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 یکنواخت بودن انتشار موج فراصوتی در آب دریا داریم:

$$x = vt \xrightarrow{x=2L} 2L = vt \Rightarrow 2L = 1530 \times 0.4 \Rightarrow L = 306 \text{ m}$$

۱۹۵۹- گزینه ۲



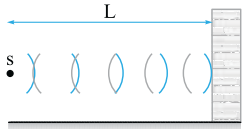
مطابق شکل زیر اولین پژواک (از صخره نزدیک‌تر) پس از ۳ s و دومین پژواک (از صخره دورتر) پس از ۳ + ۱ = ۴ s به گوش شخص می‌رسد؛ بنابراین فاصله صخره دورتر از شخص به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases} v_{\text{صوت}} = \frac{2 \times 510}{3} \\ v_{\text{صوت}} = \frac{2x}{4} \end{cases} \Rightarrow \frac{2 \times 510}{3} = \frac{2x}{4} \Rightarrow x = 680 \text{ m}$$

فاصله بین دو صخره برابر است با:

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \frac{350}{40 \times 10^3} = \frac{v}{40 \times 10^3} \Rightarrow v = 350 \text{ m/s}$$

۱۹۶۰- گزینه ۲

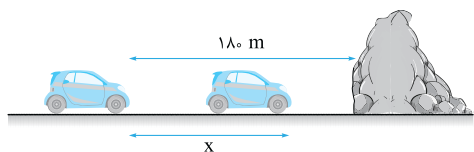


تندی انتشار صوت برابر است با:

مطابق شکل اگر فاصله چشمه از دیوار برابر L باشد، در مدت 4 s صوت مسافت $2L$ را در موقع رفت و برگشت طی می‌کند و می‌توان نوشت:

$$x = vt \xrightarrow{x=2L} 2L = vt \Rightarrow 2L = 350 \times 0.4 \Rightarrow L = 70 \text{ m}$$

۱۹۶۱- گزینه ۳

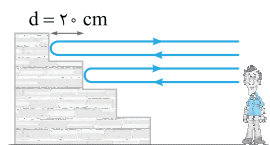


فرض کنید راننده اتومبیل پس از آن که اتومبیل به اندازه x متر به صخره نزدیک شد، صدای پژواک بوق را بشنود. پس از این که صوت مسافت 180 متر را تا صخره رفته و به اندازه $(180 - x)$ برگشته، صدای پژواک به گوش راننده می‌رسد. با توجه به یکنواخت بودن حرکت اتومبیل و انتشار صوت در هوا داریم: (تندی صوت: v و تندی اتومبیل: v')

$$\begin{cases} \text{صوت: } 180 + (180 - x) = v \times t \\ \text{اتومبیل: } x = v' \times t \end{cases} \Rightarrow \frac{360 - x}{x} = \frac{v}{v'} \times \frac{t}{t} \xrightarrow{v' = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 30 \text{ m/s}} \frac{360 - x}{x} = \frac{330}{30} \times 1 \Rightarrow x = 30 \text{ m}$$

$$x = v't \Rightarrow 30 = 30 \times t \Rightarrow t = 1 \text{ s}$$

۱۹۶۲- گزینه ۳



ابتدا مدت‌زمان بین دو پژواک متوالی را به دست می‌آوریم. مطابق شکل مقابل مسیری که صوت در هر پژواک می‌پیماید، به اندازه ۲ برابر عرض پله بیشتر از پژواک قبلی است. فاصله زمانی بین تپ‌های صوتی بازتابیده از پله‌ها (Δt) به صورت مقابل به دست می‌آید: $2d = v_{\text{صوت}} \Delta t \Rightarrow 2 \times 0.2 = 340 \times \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{4}{340} \text{ s}$ یعنی در مدت Δt ، یک پژواک به گوش شخص می‌رسد.

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

تعداد پژواک	مدت زمان (s)
۱	۴
n	۳۴۰۰

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

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

تمرین الف) اگر فاصله شخص از پایین‌ترین پله برابر ۱۳/۶ m باشد، اولین پژواک چند ثانیه پس از دست‌زدن شخص، به گوش او می‌رسد؟ ۰/۸ s
ب) اولین پژواکی که شخص تشخیص می‌دهد، چند ثانیه پس از دست‌زدن است و این پژواک مربوط به چندمین بازتاب است؟ ۱۷، ۰/۱ s

گزینه ۱-۱۹۶۴ **گام اول** وال عنبر یکی از جانورانی است که با استفاده از پژواک امواج فراصوتی، مکان‌یابی می‌کند. مسافتی که صوت طی می‌کند، دو برابر فاصله بین وال و مانع است، بنابراین داریم:

$$x = vt \Rightarrow t = \frac{x}{v} \quad x = 2L \rightarrow t = \frac{2L}{v} \Rightarrow t = \frac{2 \times 150}{1500} \Rightarrow t = 0.2 \text{ s}$$

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

$$\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{1500}{1000 \times 10^3} \Rightarrow \lambda = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m} \Rightarrow \lambda = 1.5 \text{ cm}$$

گزینه ۲-۱۹۶۴ در میکروفون سهموی از بازتاب امواج صوتی برای ثبت صداهای ضعیف و در دستگاه لیتوتریپسی از امواج فراصوت برای شکستن سنگ‌های کلیه استفاده می‌شود.

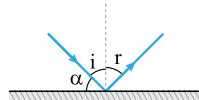
! برای تعیین تندى خودروها از مکان‌یابی پژواکی امواج الکترومغناطیسی به همراه اثر دوپلر استفاده می‌شود.

گزینه ۱-۱۹۶۵ 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.

گزینه ۲-۱۹۶۶ تک‌تک گزینه‌ها را بررسی می‌کنیم:

- 1 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.
- 2 درست؛ به علت بازتاب پخشنده، پرتوهای بازتاب در جهتهای مختلف پراکنده می‌شوند و ناظرهای مختلف (از زوایای مختلف) می‌توانند نقطه رنگی را ببینند.
- 3 نادرست؛ در بازتاب نامنظم، پرتوهای بازتاب در جهات مختلف پراکنده می‌شوند؛ بنابراین زوایای بازتاب با هم برابر نیستند.
- 4 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.

گزینه ۳-۱۹۶۷ طول موج نور مرئی در حدود $0.5 \mu\text{m}$ است، بنابراین با توجه به این‌که ابعاد ناهمواری‌های سطح کاغذ $(0.2 \text{ mm} = 200 \mu\text{m})$ بسیار بزرگ‌تر از طول موج نور مرئی است. بازتاب از سطح کاغذ، نامنظم (پخشنده) خواهد بود. از طرفی ابعاد ناهمواری‌های سطح آینه $(0.2 \mu\text{m})$ است که بسیار کوچک‌تر از طول موج نور مرئی است بنابراین بازتاب از سطح آینه منظم خواهد بود.



گزینه ۱-۱۹۶۸ اگر شکل ساده‌ای رسم کنیم، خواهیم داشت:

$$i + r = \frac{1}{2} \alpha \xrightarrow{i=r} \alpha = \lambda i$$

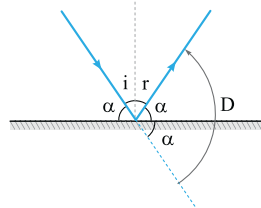
$$\alpha + i = 90^\circ \xrightarrow{\alpha = \lambda i} \lambda i + i = 90^\circ \Rightarrow i = 10^\circ$$

گزینه ۲-۱۹۶۹ براساس فرض تست $D = 6r$ است.

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

$$r + \alpha = 90^\circ \Rightarrow r + 3r = 90^\circ \Rightarrow 4r = 90^\circ \Rightarrow r = 22.5^\circ$$

$$i = r \Rightarrow i = 22.5^\circ$$



گزینه ۱-۱۹۷۰ چون زاویه بین پرتوهای تابش و بازتاب بزرگ‌تر شده است، بنابراین با دوران آینه به اندازه 3° ، زاویه تابش از i به $i + 3^\circ$ و زاویه بازتاب

از r به $r + 3^\circ$ می‌رسد و داریم:

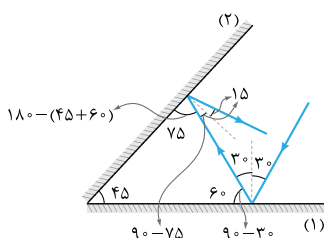
$$(i + 3^\circ) + (r + 3^\circ) = 2(i + r) \xrightarrow{i=r} 2i + 6^\circ = \lambda i \Rightarrow 6i = 6^\circ \Rightarrow i = 1^\circ$$

تمرین با دوران 3° درجه‌ای آینه، پرتوی بازتاب نسبت به راستای اولیه چند درجه دوران می‌کند؟ 6°

گزینه ۱-۱۹۷۱ با توجه به اطلاعات تست، مطابق شکل مقابل ادامه مسیر پرتو را رسم می‌کنیم و زاویه بازتاب

از آینه دوم را به دست می‌آوریم:

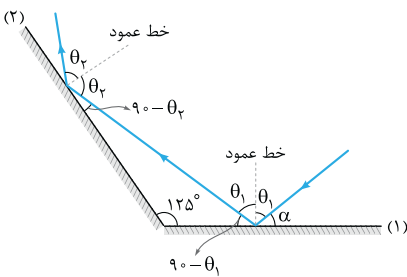
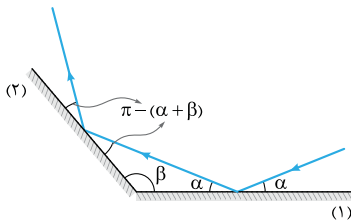
$$\hat{r}_2 = 15^\circ$$



گزینه ۱۹۷۲ -

ادامه مسیر پرتو را مطابق شکل مقابل رسم کرده و زوایا را مرحله به مرحله

تعیین می کنیم.



گزینه ۱۹۷۳ - **گام اول** مجموع زوایای داخلی مثلث شکل روبه‌رو برابر ۱۸۰ است، پس:

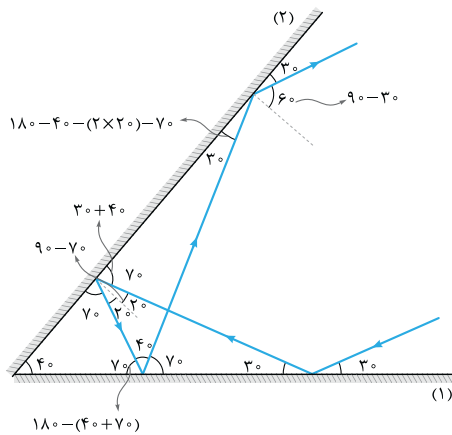
$$125^\circ + (90^\circ - \theta_1) + (90^\circ - \theta_2) = 180^\circ \Rightarrow 125^\circ - (\theta_1 + \theta_2) = 0 \Rightarrow \theta_1 + \theta_2 = 125^\circ$$

گام دوم θ_1 به صورت زیر به دست می آید:

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

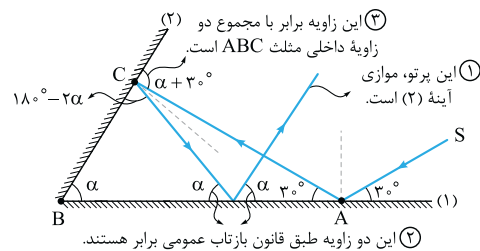
$$\alpha = 90^\circ - \theta_1 = 90^\circ - 55^\circ = 35^\circ$$

α را می‌خواهیم؛ بنابراین:



گزینه ۱۹۷۴ - مطابق شکل مقابل، با رسم ادامه مسیر پرتو و تعیین مرحله به مرحله

زوایا، زاویه بازتاب پرتو از آینه (۲) در دومین بازتاب را به دست می‌آوریم.

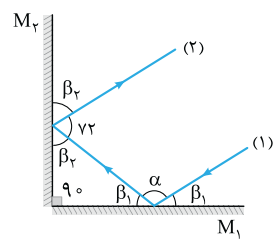


گزینه ۱۹۷۵ - با توجه به این که پرتوی نور در دومین بازتاب از آینه (۱)،

موازی آینه (۲) است، مطابق شکل روبه‌رو، زوایا را مرحله به مرحله تعیین می‌کنیم.

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

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



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

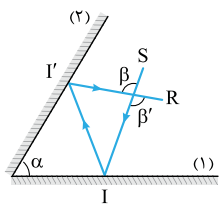
$$\beta_1 + \beta_2 + 90^\circ = 180^\circ \Rightarrow \beta_1 + 144^\circ = 180^\circ \Rightarrow \beta_1 = 36^\circ$$

$$2\beta_1 + \alpha = 180^\circ \Rightarrow 2 \times 36^\circ + \alpha = 180^\circ \Rightarrow \alpha = 108^\circ$$

گام دوم هنگامی که دو آینه بر هم عمود هستند، مستقل از زاویه تابش پرتوی (۱)، پرتوهای (۱) و (۲) موازی می‌مانند؛

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

زیرا زاویه بین آن‌ها همواره 180° خواهد بود.



گزینه ۱۹۷۷ - می‌دانیم اگر پرتوی نور به دو آینه تخت متقاطع که با هم زاویه حاده می‌سازند، تاییده و پس از

یک بار بازتاب از هر کدام از آینه‌ها، از مجموعه خارج شود، به اندازه دو برابر زاویه بین دو آینه، از مسیر خود منحرف

$$\beta' = 2\alpha$$

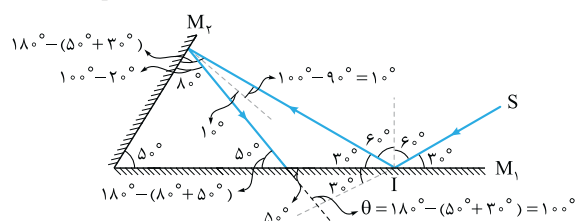
می‌شود، بنابراین در شکل مقابل داریم:

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

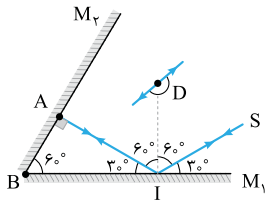
از طرفی زاویه‌های β و β' متقابل به رأس هستند، پس می‌توان نوشت:

گزینه ۱۹۷۸ - مطابق شکل روبه‌رو ادامه مسیر پرتوی SI را رسم کرده و

زوایا را مرحله به مرحله محاسبه می‌کنیم تا خواسته تست (زاویه θ) به دست آید:

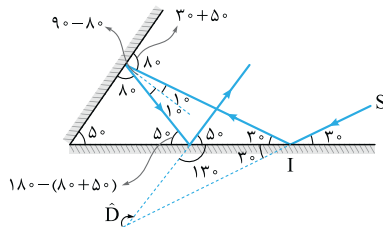


۱۹۷۹- گزینة ۳ اگر مطابق شکل مقابل ادامه مسیر پرتوی SI پس از بازتاب از آینه‌ها را رسم کنیم، متوجه می‌شوید که پرتو پس از بازتاب از آینه (۲) بر روی خودش منطبق می‌شود. بنابراین اگر پرتوهای ورودی و خروجی را از یک نقطه رسم کنیم، زاویه انحراف مطابق شکل برابر $D = 180^\circ$ می‌شود.



اگر زاویه بین دو آینه متقاطع کم‌تر از 90° باشد، نمی‌توان همواره از رابطه $\hat{D} = 2\theta$ استفاده کرد.

نکته اگر زاویه بین دو آینه متقاطع، حاده (کم‌تر از 90°) باشد و پرتوی تابش به یکی از آینه‌ها بتابد، تعداد بازتاب از هر یک از آینه‌ها و زاویه انحراف پرتوی خروجی از مجموعه نسبت به پرتوی تابش اولیه را باید با استفاده از زاویه تابش اولیه و محاسبه مرحله به مرحله زوایا تعیین کرد. اگر از هر آینه فقط یک بار بازتاب رخ دهد، زاویه انحراف را از رابطه $D = 2\theta$ می‌توان به دست آورد.



۱۹۸۰- گزینة ۳ مطابق شکل مقابل ادامه مسیر پرتو را رسم کرده و زوایا را مرحله به مرحله تعیین می‌کنیم:
بنابراین:

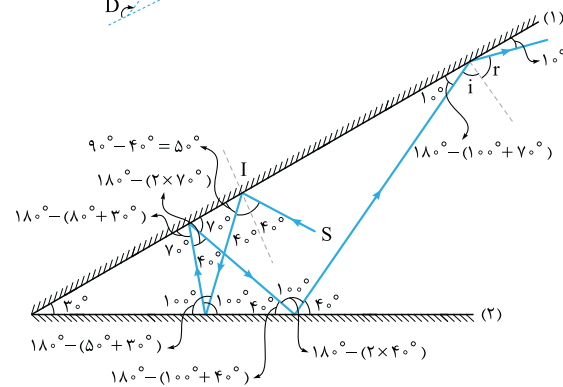
$$\hat{D} = 30^\circ + 130^\circ = 160^\circ$$

۱۹۸۱- گزینة ۲ در شکل روبه‌رو مسیر پرتو را دنبال کنید تا از نحوه محاسبه زاویه‌ها مطلع شوید. زاویه تابش پرتو در آخرین برخورد بر آینه (۱) برابر است با:

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

$$r = i = 80^\circ$$

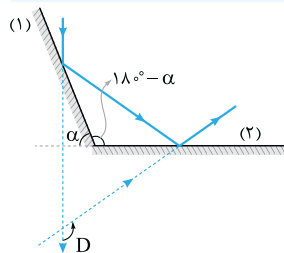
زاویه بازتابش از آینه نیز همین مقدار است:



۱۹۸۲- گزینة ۳ زاویه 100° که در شکل نشان داده زاویه انحراف پرتو است. با توجه به این که زاویه بین دو آینه بزرگ‌تر از 90° است داریم:

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

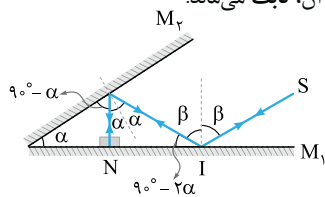
نکته هرگاه دو آینه متقاطع با هم زاویه منفرجه ($\theta > 90^\circ$) بسازند و پرتوی تابش به یکی از آینه‌ها بتابد و در ادامه از آینه دیگر بازتاب شود، مستقل از زاویه تابش پرتو، الزاماً از هر آینه یک بار بازتاب رخ می‌دهد و زاویه انحراف پرتو همواره از رابطه $D = 360 - 2\theta$ به دست می‌آید.



۱۹۸۳- گزینة ۲ زاویه بین دو آینه، منفرجه و برابر $\gamma = 180^\circ - \alpha$ است، پس زاویه بین پرتو ورودی و پرتو خروجی برابر $D = 360 - 2\gamma$ است و داریم:

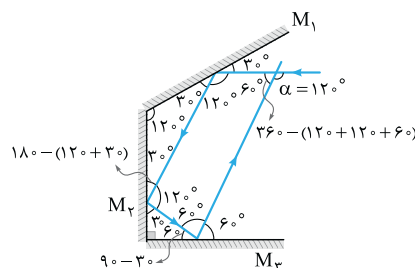
$$D = 360 - 2(180 - \alpha) \Rightarrow D = 2\alpha$$

۱۹۸۴- گزینة ۲ زاویه γ که در شکل نشان داده شده است، زاویه انحراف پرتوی SI است. اگر زاویه بین دو آینه بیشتر از 90° باشد ($\alpha > 90^\circ$)، زاویه انحراف از رابطه $\gamma = 360 - 2\alpha$ به دست می‌آید. بنابراین زاویه انحراف پرتو (γ) به زاویه تابش بستگی ندارد و با تغییر آن، ثابت می‌ماند.



۱۹۸۵- گزینة ۳ برای این که پرتو روی خودش بازتاب شود، لازم است پرتو در نقطه N بر سطح آینه M_1 عمود باشد. حالا زاویه‌ها را بر حسب α و β روی شکل مشخص می‌کنیم. در نقطه I، مجموع دو زاویه β و $(90 - 2\alpha)$ یک زاویه قائمه ساخته‌اند، پس داریم:

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

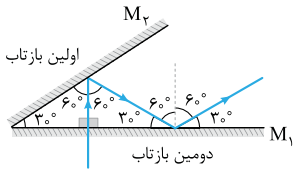


۱۹۸۶- گزینة ۲ مطابق شکل، پرتو با زاویه 30° نسبت به آینه M_1 به آن تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. در ادامه با توجه به این که مجموع زوایای داخلی هر مثلثی برابر 180° است، پرتو با زاویه 30° نسبت به آینه M_2 تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. مجموع زوایای داخلی مثلث قائم‌الزاویه هم برابر 180° است، پس پرتو با زاویه 60° به آن تابیده و تحت همین زاویه هم بازتاب می‌شود. حالا با توجه به این که مجموع زوایای داخلی هر چهارضلعی برابر 360° است، زاویه مکمل α برابر 60° می‌شود و از این جا معلوم می‌شود که داریم:

$$\alpha = 120^\circ$$

۱۹۸۷- گزینه ۲ مطابق شکل، امتداد پرتو پس از دومین بازتاب، با امتداد آینه M_2

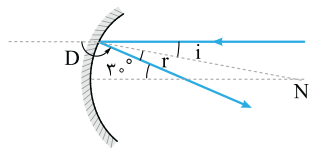
موازی می‌شود، بنابراین دیگر بازتابی رخ نخواهد داد.



۱۹۸۸- گزینه ۳ برای این که صدا با بیشترین شدت ممکن شنیده شود، شنونده باید در کانون سطح B قرار بگیرد. پس فاصله شنونده از چشمه صوت

$$x = AB - f_A - f_B = 100 - 20 - 20 = 60 \text{ cm}$$

برابر است با:



۱۹۸۹- گزینه ۳ براساس قضیه خطوط موازی و مورب زاویه بین پرتو تابش و بازتابش 30° است،

$$i + r = 30^\circ \xrightarrow{i=r} 2i = 30^\circ \Rightarrow i = 15^\circ$$

پس:

۱۹۹۰- گزینه ۳ شکل بالا نشان می‌دهد نور، 15° از مسیر اولیه‌اش منحرف شده است.

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 درست است.



۱۹۹۱- گزینه ۴ با تغییر محیط انتشار موج، بسامد آن تغییر نمی‌کند؛ بنابراین بسامد موج که همان بسامد چشمه موج است، ثابت می‌ماند.

۱۹۹۲- گزینه ۳ طبق رابطه $v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$ و با توجه به یکسان بودن F و ρ ، تندی انتشار موج در طناب با جذر مساحت مقطع طناب نسبت وارون دارد $(v \propto \frac{1}{\sqrt{A}})$ ؛

پس با عبور موج از قسمت نازک طناب به قسمت ضخیم آن (افزایش A)، تندی انتشار موج کاهش می‌یابد. هم‌چنین طبق رابطه $v = \lambda f$ و با توجه به ثابت بودن f ، λ و v نسبت مستقیم دارند، پس با کاهش تندی انتشار موج (v)، طول موج (λ) هم کاهش می‌یابد.

۱۹۹۲- گزینه ۱ فاصله بین دو برآمدگی متوالی برابر طول موج است، پس طول موج در ناحیه عمیق برابر $\lambda_1 = 10 \text{ cm}$ است و بنابراین تندی

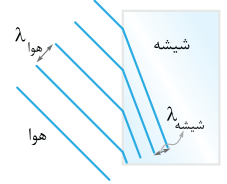
$$\lambda_1 = \frac{v_1}{f} \Rightarrow 0.1 = \frac{v_1}{5} \Rightarrow v_1 = 0.5 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0.4 v_1 = 0.4 \times 0.5 = 0.2 \text{ m/s} \Rightarrow v_2 = 20 \text{ cm/s}$$

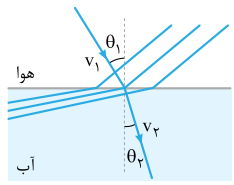
تندی در ناحیه کم‌عمق، کم‌تر از تندی در ناحیه عمیق است و داریم:

$$\lambda_2 = \frac{v_2}{f} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{0.2}{5} \Rightarrow \lambda_2 = 0.04 \text{ m} \Rightarrow \lambda_2 = 4 \text{ cm}$$

۱۹۹۳- گزینه ۴ بسامد امواج در ناحیه کم‌عمق برابر با بسامد امواج در ناحیه عمیق است و می‌توان نوشت:



۱۹۹۳- گزینه ۴ بسامد یک موج جزء ویژگی‌های ذاتی آن موج است و تنها به چشمه 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 رابطه $\lambda = \frac{v}{f}$ ، می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش تندی موج، طول موج آن هم در شیشه مطابق شکل کوتاه‌تر می‌شود و با شکسته شدن موج، امتداد آن هم تغییر می‌کند.



۱۹۹۴- گزینه 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؟

۱۹۹۵- گزینه ۳ می‌دانیم طول موج، فاصله بین دو جبهه متوالی است، پس با توجه به شکل، طول موج در محیط I برابر $\lambda_I = 8 \text{ cm}$ و در محیط

R برابر $\lambda_R = 6 \text{ cm}$ است و داریم:

$$v = \lambda f \Rightarrow \begin{cases} v_I = 0.08 \times 10 = 0.8 \text{ m/s} \\ v_R = 0.06 \times 10 = 0.6 \text{ m/s} \end{cases} \Rightarrow \Delta v = v_R - v_I = 0.6 - 0.8 = -0.2 \text{ m/s} \Rightarrow \Delta v = -20 \text{ cm/s}$$

۱۹۹۶- گزینه ۴ زاویه‌ای که جبهه‌های موج تابش و شکست با مرز جدایی دو محیط می‌سازند، برابر زوایای تابش و شکست است.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \xrightarrow{\theta_1 = \alpha, \theta_2 = \beta} \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin 37^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0.6}{0.5} = \frac{6}{5}$$

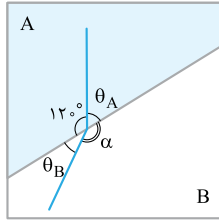
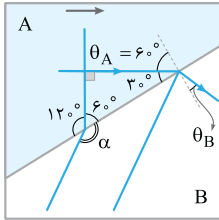
۱۹۹۷- گزینه ۲ **گام اول** چون $10\sqrt{3} < 30^\circ$ است، $v_B < v_A$ می‌باشد. پس عمق آب در بخش B کم‌تر از عمق آن در بخش A است. به کمک قانون شکست عمومی می‌نویسیم:

$$\frac{\sin \theta_B}{\sin \theta_A} = \frac{v_B}{v_A} \Rightarrow \frac{\sin \theta_B}{\sin 6^\circ} = \frac{10\sqrt{3}}{30} \Rightarrow \frac{\sin \theta_B}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\Rightarrow \sin \theta_B = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{3}{2 \times 3} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta_B = 30^\circ$$

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

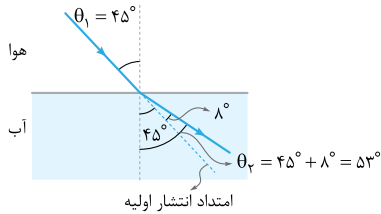
$$\theta_B + \alpha = 180^\circ \xrightarrow{\theta_B = 30^\circ} 30^\circ + \alpha = 180^\circ \Rightarrow \alpha = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$$



۱۹۹۸- گزینه ۲ زاویه بین جبهه‌های موج تابیده‌شده و مرز دو محیط برابر زاویه 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:

$$\frac{v_{\text{هوآ}}}{v_{\text{آب}}} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \Rightarrow \frac{336}{v_{\text{آب}}} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 53^\circ} \Rightarrow \frac{336}{v_{\text{آب}}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{4}{5}} \Rightarrow \frac{336}{v_{\text{آب}}} = \frac{5\sqrt{2}}{4}$$

$$\xrightarrow{\sqrt{2}=1/4} v_{\text{آب}} = \frac{336 \times 4}{5} = 384 \text{ m/s}$$



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.

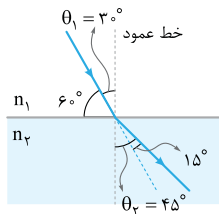
$$\theta_1 = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

۱۹۹۹- گزینه ۱ **گام اول** زاویه تابش و شکست پرتو را به دست می‌آوریم:

$$\theta_2 = \theta_1 + 15^\circ \xrightarrow{\theta_1 = 30^\circ} \theta_2 = 45^\circ$$

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

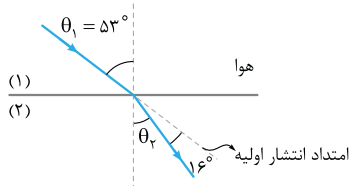
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{2}$$



۲۰۰۰- گزینه 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، زاویه شکست را تعیین می‌کنیم:

$$\theta_2 = \theta_1 - 16^\circ = 53^\circ - 16^\circ = 37^\circ$$



گام دوم طول موج نور در محیط (۲)، $\frac{1}{8} \mu\text{m}$ کم‌تر از طول موج نور در محیط (۱) است، پس:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \Rightarrow \frac{\lambda_1 - \frac{1}{8} \times 10^{-6}}{\lambda_1} = \frac{\sin 37^\circ}{\sin 53^\circ} \Rightarrow \frac{\lambda_1 - \frac{1}{8} \times 10^{-6}}{\lambda_1} = \frac{3}{4} \Rightarrow 4\lambda_1 - \frac{1}{2} \times 10^{-6} = 3\lambda_1 \Rightarrow \lambda_1 = \frac{1}{2} \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$f = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{\frac{1}{2} \times 10^{-6}} = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

گام سوم بنامد نور برابر است با:

۲۰۰۱- گزینه ۳ **گام اول** تندی این نور در هوا برابر $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ است، پس با استفاده از رابطه طول موج داریم:

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow 625 \times 10^{-9} = \frac{3 \times 10^8}{f} \Rightarrow f = \frac{3}{625} \times 10^{17} \Rightarrow f = \frac{3000}{625} \times 10^{14} \Rightarrow f = 4.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

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

$$n = \frac{c}{v} \xrightarrow{v = \lambda' f} n = \frac{\lambda}{\lambda'} \Rightarrow n = \frac{625 \times 10^{-9}}{500 \times 10^{-9}} \Rightarrow n = \frac{625}{500} \Rightarrow n = 1.25$$

$$\lambda_1 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4.8 \times 10^{14}} = 6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}$$

۲۰۰۲- گزینه ۲ **گام اول** طول موج نور در خلأ (λ_1) را محاسبه می‌کنیم:

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:

$$\lambda_p = \lambda_1 - 150 = 600 - 150 = 450 \text{ nm}$$

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

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

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

۲۰۰۳- گزینه ۲ طبق صورت تست داریم:

حالا از تعریف ضریب شکست یک محیط شفاف می‌توان نوشت:

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

۲۰۰۴- گزینه 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 این که بسامد هر نور در همه محیط‌ها ثابت و یکسان است، به کمک رابطه طول موج با تندی و با ضریب شکست داریم:

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

۲۰۰۵- گزینه 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

$$x = vt \xrightarrow{v=c} 9 = 3 \times 10^8 \times t \Rightarrow t = 3 \times 10^{-8} \text{ s}$$

رسیدن نور به سطح آب برابر است با:

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

$$n_{\text{آب}} = \frac{c}{v_{\text{آب}}} \Rightarrow v_{\text{آب}} = \frac{c}{n_{\text{آب}}} = \frac{3 \times 10^8}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{4} \times 10^8 \text{ m/s}, x' = v_{\text{آب}} t' \Rightarrow 4/5 = \frac{9}{4} \times 10^8 \times t' \Rightarrow t' = 2 \times 10^{-8} \text{ s}$$

$$t_{\text{رفت}} = t + t' = 3 \times 10^{-8} + 2 \times 10^{-8} = 5 \times 10^{-8} \text{ s}$$

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

$$t_{\text{کل}} = 2t_{\text{رفت}} = 2 \times 5 \times 10^{-8} \text{ s} = 10^{-7} \text{ s}$$

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

تپش مسافتی که نور در مسیر رفت و برگشت می‌پیماید برابر $2 \times (9 + 4/5) = 3 \times 9 = 27 \text{ m}$ است. فرض می‌کنیم آبی وجود ندارد و کل مسیر

$$\Delta t = \frac{x}{c} = \frac{27}{3 \times 10^8} = 9 \times 10^{-8} \text{ s}$$

هواست بنابراین زمان لازم برای طی این مسافت برابر است با:

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 $9 \times 10^{-8} \text{ s}$ باشد و فقط **۴** می‌تواند جواب تست باشد.

۲۰۰۶- گزینه ۳ **گام اول** کمیت‌های مربوط به آب و هوا را به ترتیب با w و a نشان می‌دهیم. به کمک رابطه 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 $L_w = 144 \text{ cm}$ و در هوا مسافت $L_a = h$ را طی می‌کند. بنابراین:

$$x = vt \xrightarrow{t_a = t_w} \frac{L_a}{L_w} = \frac{v_a}{v_w} \Rightarrow \frac{h}{144} = \frac{4}{3} \Rightarrow h = \frac{4 \times 144}{3} = 4 \times 48 = 192 \text{ cm}$$

۲۰۰۷- گزینه 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 رابطه $n = \frac{c}{v}$ ، تندی انتشار نور در محیط n_2 از رابطه $\frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$ به دست می‌آید و برای محاسبه زمان حرکت نور در محیط n_2 می‌توان

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

نوشت:

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

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

تپش فرض می‌کنیم از نقطه A تا B کل محیط n_1 است، بنابراین مدت زمان رسیدن پرتو از A تا B برابر است با:

حالا که بخشی از محیط n_2 است و تندی نور در محیط n_2 ، نسبت به n_1 کاهش می‌یابد، بنابراین مدت زمان رسیدن پرتو از A تا B نسبت به حالتی که

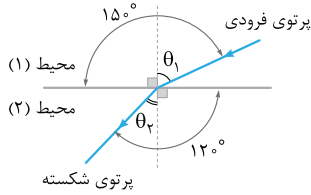
فرض کردیم افزایش می‌یابد؛ بنابراین باید $\Delta t > \frac{2L}{v_1}$ باشد. مشخص است که **۲** و **۳** کم‌تر از $\frac{2L}{v_1}$ هستند و نمی‌توانند جواب تست باشند. از طرفی برای

۲ هم می‌توان گفت:

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

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

۲۰۰۸- گزینه 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.



۲۰۰۹- گزینه ۲ روش اول: کام اول شکل روبه‌رو، کامل شده شکل صورت تست است. با توجه به شکل:

$$\begin{cases} \theta_1 + 90^\circ = 15^\circ \Rightarrow \theta_1 = 15^\circ - 90^\circ = 6^\circ \\ \theta_2 + 90^\circ = 12^\circ \Rightarrow \theta_2 = 12^\circ - 90^\circ = 3^\circ \end{cases}$$

کام دوم به کمک قانون شکست عمومی، داریم:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\sin 6^\circ}{\sin 3^\circ} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\frac{2}{\sqrt{3}}}{\frac{1}{2}} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{3}$$

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

کام سوم به کمک رابطه تندی نور با ضریب شکست می‌نویسیم:

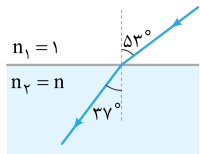
روش دوم: می‌توانیم n_1 را به کمک قانون شکست اسنل هم حساب کنیم:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow n_1 \times \sin 6^\circ = 2 \times \sin 3^\circ \Rightarrow n_1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 2 \times \frac{1}{2} \Rightarrow n_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}}{3}$$

تیزبازش با توجه به این که 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).

۲۰۱۰- گزینه ۴ زاویه تابش در آب برابر $\theta_1 = 90^\circ - 53^\circ = 37^\circ$ است و چون پرتو از آب وارد هوا می‌شود، داریم: $n_1 = 1$ و $n_2 = \frac{4}{3}$ ، حالا به کمک قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow \frac{4}{3} \times \sin 37^\circ = 1 \times \sin \theta_2 \Rightarrow \sin \theta_2 = 0.8 \Rightarrow \theta_2 = 53^\circ$$



۲۰۱۱- گزینه ۳ راحت‌تریم تا با نمودار پرتویی کار کنیم. می‌دانیم پرتوها عمود بر جبهه‌های موج هستند و زاویه بین جبهه موج فرودی با مرز دو محیط برابر با زاویه تابش و زاویه بین جبهه موج شکسته با مرز دو محیط برابر با زاویه شکست است، پس می‌توان شکل مقابل را در نظر گرفت و به کمک قانون شکست اسنل نوشت:

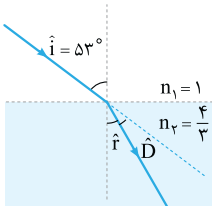
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow 1 \times \sin 53^\circ = n \times \sin 37^\circ \Rightarrow n = \frac{4}{3}$$

۲۰۱۲- گزینه ۲ کام اول با استفاده از قانون شکست اسنل، می‌توان نوشت:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \xrightarrow{\theta_1=i=53^\circ, \theta_2=r} 1 \times \sin 53^\circ = \frac{4}{3} \times \sin r \Rightarrow \sin r = 0.6 \Rightarrow r = 37^\circ$$

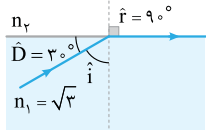
کام دوم بنابراین برای محاسبه زاویه انحراف مطابق شکل می‌توان نوشت:

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



۲۰۱۳- گزینه ۳ کام اول مطابق شکل زاویه شکست برابر $r = 90^\circ - 9^\circ = 81^\circ$ است و چون زاویه انحراف برابر $D = 3^\circ$ است، $D = r - i \Rightarrow i = 6^\circ$ می‌توان نوشت:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \xrightarrow{\theta_1=i=6^\circ, \theta_2=r=81^\circ} \sqrt{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = n_2 \times 1 \Rightarrow n_2 = \frac{3}{2}$$



$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \times 10^8}{\frac{3}{2}} \Rightarrow v_2 = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

کام دوم تندی نور در محیط n_2 برابر است با:

۲۰۱۴- گزینه ۴ پرتو از هوا به ضریب شکست $n_1 = 1$ وارد محیط غلیظی به ضریب شکست $n_2 = 1/6$ می‌شود؛ بنابراین می‌توان نوشت:

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

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \xrightarrow{\theta_1=i=2D, \theta_2=r=D} 1 \times \sin 2D = \frac{1}{6} \times \sin D$$

کام دوم به کمک قانون شکست اسنل داریم:

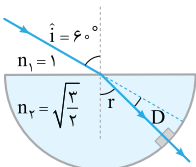
$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha \rightarrow 2 \cos D = 1/6 \Rightarrow \cos D = 0.8 \xrightarrow{\cos 37^\circ = 0.8} D = 37^\circ \Rightarrow i = 2D = 74^\circ$$

۲۰۱۵- گزینه ۲ کام اول با استفاده از قانون شکست اسنل برای ورود پرتوی SI به نیم‌استوانه می‌توان نوشت:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \Rightarrow 1 \times \sin 6^\circ = \sqrt{\frac{3}{2}} \times \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow r = 45^\circ$$

کام دوم پرتوی نور در خروج از نیم‌استوانه شکسته نمی‌شود، زیرا عمود بر سطح نیم‌استوانه تابیده است، بنابراین برای محاسبه زاویه انحراف خواهیم داشت:

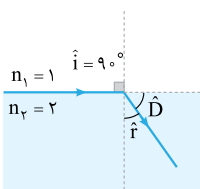
$$i = r + D \Rightarrow 6^\circ = 45^\circ + D \Rightarrow D = 15^\circ$$



۲۰۱۶ - گزینه ۳

است، پس ضریب شکست محیط شفاف برابر $n = \frac{c}{v} = 2$ است. در حالت کلی با افزایش

زاویه تابش، زاویه شکست و زاویه انحراف هم افزایش پیدا می‌کنند، بنابراین بیشترین زاویه انحراف مربوط به حالتی است که مطابق شکل زاویه تابش برابر 90° شود. با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

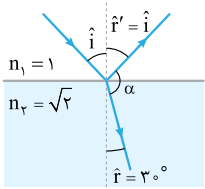


$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \Rightarrow 1 \times \sin 90^\circ = 2 \sin r \Rightarrow \sin r = \frac{1}{2} \Rightarrow r = 30^\circ$$

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

بنابراین بیشترین زاویه انحراف برابر است با:

۲۰۱۷ - گزینه ۳ **گام اول** مطابق شکل و با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:



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

بنابراین زاویه بازتاب هم برابر $r' = i = 45^\circ$ است و زاویه بین پرتوی بازتاب و پرتوی شکست (α) برابر است با:

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

۲۰۱۸ - گزینه ۴ **گام اول** پرتوی نوری را در نظر بگیرید که با زاویه تابش \hat{i} از محیط شفاف n_1 به محیط شفاف n_2 می‌تابد، حالا اگر پرتوی شکست در محیط دوم بر پرتوی بازتاب اول عمود باشد، می‌توان نوشت:

می‌توان نوشت:

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

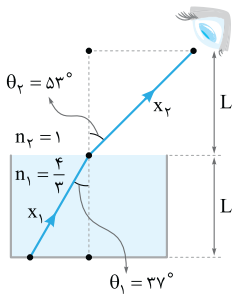
$$\Rightarrow \sin \hat{r} = \sin(90^\circ - \hat{i}) \xrightarrow{\sin(90^\circ - \theta) = \cos \theta} \sin \hat{r} = \cos \hat{i}$$

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

با استفاده از قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

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

۲۰۱۹ - گزینه ۴ **گام اول** ابتدا به کمک قانون شکست اسنل، زاویه شکست در هوا را حساب می‌کنیم:



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow \frac{4}{3} \times \sin 37^\circ = 1 \times \sin \theta_2 \Rightarrow \sin \theta_2 = 0.8 \Rightarrow \theta_2 = 53^\circ$$

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

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

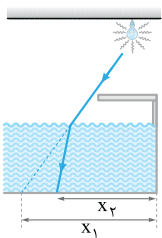
حالا با توجه به یکنواخت بودن حرکت نور در دو محیط داریم:

$$x = vt \Rightarrow t = \frac{x}{v} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{x_2}{x_1} \times \left(\frac{v_1}{v_2}\right) \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_1}\right) \times \left(\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}\right) \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = \frac{\sin \theta_1 \cos \theta_1}{\sin \theta_2 \cos \theta_2} \xrightarrow{\theta_1 = 37^\circ, \theta_2 = 53^\circ} \frac{t_2}{t_1} = \frac{0.6 \times 0.8}{0.8 \times 0.6} \Rightarrow \frac{t_2}{t_1} = 1$$

۲۰۲۰ - گزینه ۱

مطابق شکل وقتی استخر خالی است، طول سایه تخته 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 سایه تخته برابر x_2 می‌شود. با توجه به شکل $x_2 < x_1$ است و طول سایه تخته در هنگام پر بودن استخر، کوتاه‌تر از طول سایه آن، هنگام خالی بودن استخر است.



۲۰۲۱ - گزینه ۳ **گام اول** مطابق شکل پرتوهای نور خورشید در ضمن ورود به آب شکسته می‌شوند.

برای ورود نور به آب داریم:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \Rightarrow 1 \times \sin 53^\circ = \frac{4}{3} \times \sin r \Rightarrow \sin r = 0.6 \Rightarrow r = 37^\circ$$

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

گام دوم در مثلث ISB داریم:

$$\tan r = \tan 37^\circ = \frac{x_2}{1/2} \Rightarrow \frac{3}{4} = \frac{x_2}{1/2} \Rightarrow x_2 = 0.9 \text{ m}$$

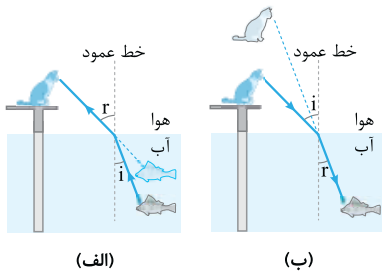
هم‌چنین در مثلث IAB داریم:

$$x = 1/6 + 0.9 = 2/5 \text{ m}$$

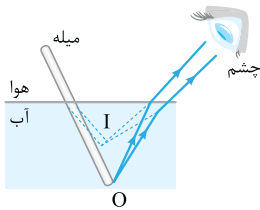
گام سوم طول سایه‌ای که از تیر بر کف استخر می‌افتد، مجموع x_1 و x_2 است، بنابراین:

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

۲۰۲۲- گزینه ۲ 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.

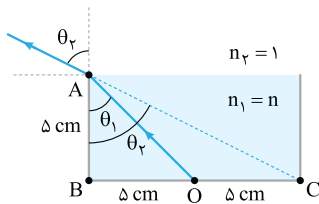


۲۰۲۳- گزینه ۲ پرتوهایی که از انتهای میله (نقطه O) به سطح آب می‌تابند، هنگام خروج شکسته شده و به نظر می‌رسد از نقطه I (تصویر مجازی نقطه O) آمده‌اند. بنابراین مطابق شکل میله شکسته به نظر می‌رسد، یعنی کوتاه‌تر و نزدیک به سطح آب مشاهده می‌شود.



۲۰۲۴- گزینه 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:

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

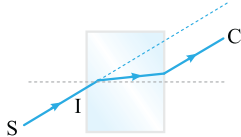


$$\sin \theta_2 = \frac{BC}{AC} = \frac{5+5}{\sqrt{10^2 + 5^2}} = \frac{10}{5\sqrt{5}} = \frac{2}{\sqrt{5}}$$

گام دوم با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

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

۲۰۲۵- گزینه ۲ 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.



۲۰۲۶- گزینه ۳ **گام اول** قانون شکست اسنل را برای دو حالت می‌نویسیم:

$$(1) \text{ حالت } n_{\text{آب}} \sin \theta = n_{\text{تیغه}} \sin \theta'_1 \Rightarrow \sin \theta'_1 = \frac{n_{\text{آب}}}{n_{\text{تیغه}}} \sin \theta$$

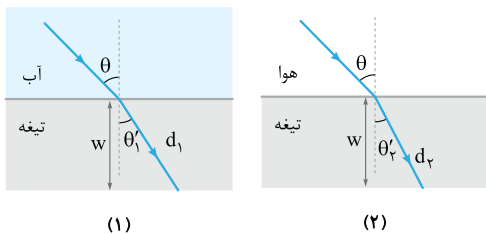
$$(2) \text{ حالت } n_{\text{هوا}} \sin \theta = n_{\text{تیغه}} \sin \theta'_2 \Rightarrow \sin \theta'_2 = \frac{n_{\text{هوا}}}{n_{\text{تیغه}}} \sin \theta$$

$$n_{\text{آب}} > n_{\text{هوا}} \xrightarrow{(1),(2)} \sin \theta'_1 > \sin \theta'_2 \Rightarrow \theta'_1 > \theta'_2$$

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

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

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



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

$$(1) \text{ حالت } d_1 = v_1 t_1 \xrightarrow{\cos \theta'_1 = \frac{w}{d_1}} \frac{w}{\cos \theta'_1} = v_1 t_1$$

$$(2) \text{ حالت } d_2 = v_2 t_2 \xrightarrow{\cos \theta'_2 = \frac{w}{d_2}} \frac{w}{\cos \theta'_2} = v_2 t_2$$

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

$$\begin{cases} t_1 = \frac{w}{v_1 \cos \theta'_1} \\ t_2 = \frac{w}{v_2 \cos \theta'_2} \end{cases} \xrightarrow{\theta'_1 > \theta'_2 \Rightarrow \cos \theta'_1 < \cos \theta'_2, v_1 = v_2} t_1 > t_2$$

نتیجه‌گیری 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، زاویه شکست کوچک‌تری خواهد داشت؛ یعنی:

$$\theta'_1 < \theta'_2 \Rightarrow \text{انحراف پرتوی (۱)} > \text{انحراف پرتوی (۲)}$$

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

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

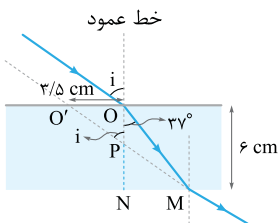
۲۰۲۷ - گزینه ۲

روش اول: گام اول

باید با استفاده از روابط هندسی زاویه \hat{i} را به دست آوریم. به کمک شکل روبه‌رو و با استفاده از روابط مثلثاتی داریم:

$$\begin{cases} \cos 37^\circ = \frac{\overline{ON}}{\overline{OM}} \Rightarrow 0.8 = \frac{6}{\overline{OM}} \Rightarrow \overline{OM} = 7.5 \text{ cm} \\ \sin 37^\circ = \frac{\overline{MN}}{\overline{OM}} \Rightarrow 0.6 = \frac{\overline{MN}}{7.5} \Rightarrow \overline{MN} = 4.5 \text{ cm} \end{cases}$$

گام دوم: مثلث‌های OPO' و NPM متشابه‌اند؛ بنابراین:



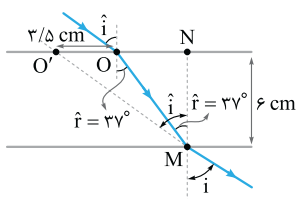
$$\frac{\overline{OO'}}{\overline{MN}} = \frac{\overline{OP}}{\overline{PN}} \xrightarrow{\overline{PN} = 6 - \overline{OP}} \frac{3/5}{4/5} = \frac{\overline{OP}}{6 - \overline{OP}} \Rightarrow 21 - 3/5 \overline{OP} = 4/5 \overline{OP} \Rightarrow \overline{OP} = \frac{21}{8} \text{ cm}$$

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

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

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \xrightarrow{\theta_1 = \hat{i} = 53^\circ, \theta_2 = 37^\circ} 1 \times \sin 53^\circ = n_2 \sin 37^\circ \Rightarrow 0.8 = n_2 \times 0.6 \Rightarrow n_2 = \frac{0.8}{0.6} = \frac{4}{3}$$

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

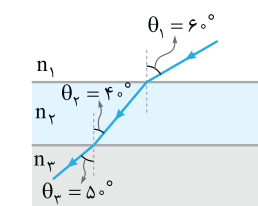


$$\Delta OMN: \tan \hat{r} = \frac{\overline{ON}}{\overline{MN}} \Rightarrow \tan 37^\circ = \frac{\overline{ON}}{6} \xrightarrow{\tan 37^\circ = \frac{3}{4}} \overline{ON} = 4.5 \text{ cm}$$

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

گام دوم: به کمک قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

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



گزینه 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:

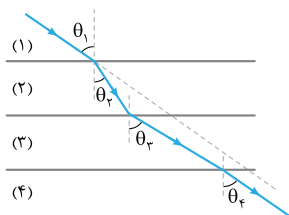
از طرفی سینوس زاویه حاده تابعی صعودی است، پس از نامساوی $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ می‌توان نتیجه گرفت:

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

حالا اگر این نامساوی را با تساوی حاصل از قانون شکست اسنل ترکیب کنیم، خواهیم داشت:

$$n_1 < n_2 < n_3$$

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



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

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

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

گزینه ۳: با توجه به شکل تست $\theta_1 = 45^\circ$ ، $\theta_2 = 2^\circ$ و $\theta_3 = 6^\circ$ ، از قانون شکست اسنل برای سه محیط داریم:

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

$$\Rightarrow \frac{v_3}{v_1} = \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1} \Rightarrow \frac{v_3}{v_1} = \frac{\sin 6^\circ}{\sin 45^\circ} = \sqrt{\frac{3}{2}}$$

نکته

اگر چند محیط در مجاورت هم قرار داشته باشند و سطح مشترک همه 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:

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

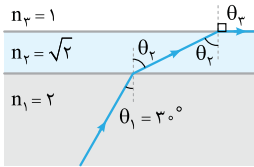
تپایش: زاویه شکست در محیط n_3 ($\theta_3 = 6^\circ$) بزرگ‌تر از زاویه تابش در محیط n_1 ($\theta_1 = 45^\circ$) است. طبق قانون شکست عمومی داریم:

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

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

تمرین: رابطه بین ضریب شکست سه محیط شفاف را بنویسید. $n_2 > n_1 > n_3$

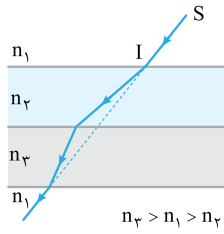
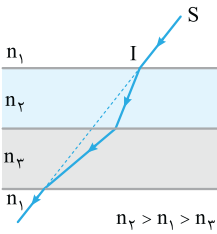
با توجه به قانون شکست اسنل می توان نوشت:



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

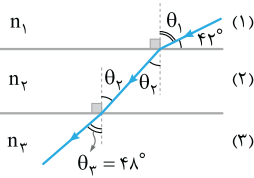
$$\Rightarrow \sin \theta_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta_2 = 45^\circ \text{ و } \sin \theta_2 = 1 \Rightarrow \theta_2 = 90^\circ$$

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



اگر n_3 و n_4 هر دو بزرگ تر از n_1 باشند، پرتو در این دو محیط به خط عمود نزدیک شده و پرتوی خروجی با این که با پرتوی ورودی موازی است، اما امتدادش عوض شده و به طرف راست جابه جا می شود. به طریق مشابه اگر n_3 و n_4 هر دو کوچک تر از n_1 باشند، امتداد پرتوی خروجی به طرف چپ جابه جا می شود. اما اگر ضریب شکست یکی از محیطها بزرگ تر از n_1 و دیگری کوچک تر 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 نمی افتد و راستای پرتو هم تغییری نمی کند اما باید توجه داشت که الزامی برای این موضوع وجود ندارد.

از روی شکل زاویه تابش اولیه را حساب می کنیم:



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

$$\theta_3 = \theta_1 = 48^\circ$$

بنابراین زاویه های تابش اولیه و شکست نهایی با هم برابرند:

کام دوم طبق قانون شکست عمومی، تندی نور در محیطهای (۱) و (۳) برابرند و این دو محیط طبق رابطه بین ضریب شکست و تندی نور، ضریب شکست

یکسانی دارند؛ یعنی:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1} &= \frac{v_3}{v_1} \xrightarrow{\theta_3=\theta_1} \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_1} = \frac{v_3}{v_1} \Rightarrow v_3 = v_1 = 2/5 \times 10^8 \text{ m/s} = 2/5 \times 10^8 \text{ km/s} \\ \frac{v_3}{v_1} &= \frac{n_1}{n_3} \xrightarrow{v_3=v_1} 1 = \frac{n_1}{n_3} \Rightarrow n_3 = n_1 \end{aligned} \right.$$

کام سوم حالا به کمک آن چه در صورت تست گفته شده، داریم:

$$n_2 = n_3 + 0.25n_3 = 1.25n_3 = \frac{5}{4}n_3 \Rightarrow \frac{n_2}{n_3} = \frac{5}{4}$$

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{n_3}{n_2} \Rightarrow \frac{v_2}{v_3} = \frac{4}{5} \xrightarrow{v_3=2/5 \times 10^8 \text{ km/s}} \frac{v_2}{2/5 \times 10^8} = \frac{4}{5} \Rightarrow v_2 = \frac{4 \times 2/5 \times 10^8}{5} = \frac{1}{5} \times 10^8 = 2 \times 10^7 \text{ km/s}$$

کام چهارم اختلاف تندی نور در محیطهای (۱) و (۲) را به دست می آوریم:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = 2 \times 10^7 - 2/5 \times 10^8 = -0.8 \times 10^8 = -8 \times 10^7 \text{ km/s}$$

علامت منفی نشان دهنده کم تر بودن v_2 از v_1 است.

۲۰۳۴ - گزینه ۲ کام اول تندی نور در محیط (۲)، ۲۵ درصد کم تر از تندی نور در محیط (۱) است؛ بنابراین:

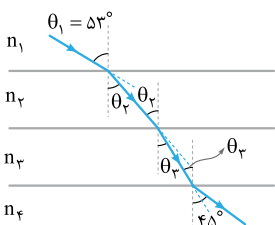
$$v_2 = v_1 - \frac{25}{100} v_1 = \frac{3}{4} v_1$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \Rightarrow \frac{v_1}{3/4 v_1} = \frac{\sin 53^\circ}{\sin \theta_2} \Rightarrow \sin \theta_2 = \frac{3}{4} \times 0.8 = 0.6 \Rightarrow \theta_2 = 37^\circ$$

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

$$v_4 = v_3 + \frac{40}{100} v_3 = 1.4 v_3$$

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



$$\frac{v_3}{v_4} = \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4} \Rightarrow \frac{v_3}{1.4 v_3} = \frac{\sin \theta_3}{\sin 45^\circ} \Rightarrow \sin \theta_3 = \frac{0.7}{1.4} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta_3 = 30^\circ$$

کام سوم در نهایت قانون شکست اسنل را برای محیطهای (۲) و (۳) می نویسیم:

$$\frac{n_2}{n_3} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_3} \Rightarrow \frac{n_2}{n_3} = \frac{\sin 37^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0.6}{0.5} = \frac{6}{5}$$

۲۰۳۵ - گزینه ۲ کام اول تندی نور در محیط n_4 را به دست می آوریم:

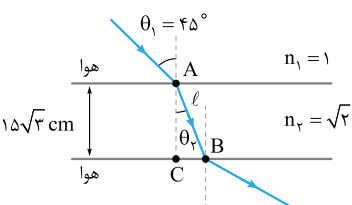
$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow \frac{v_2}{3 \times 10^8} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow v_2 = \frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^8 \text{ m/s}$$

کام دوم به فاصله A تا B نیاز داریم. ابتدا زاویه شکست θ_2 در شکل مقابل را به کمک قانون شکست اسنل

محاسبه می کنیم:

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

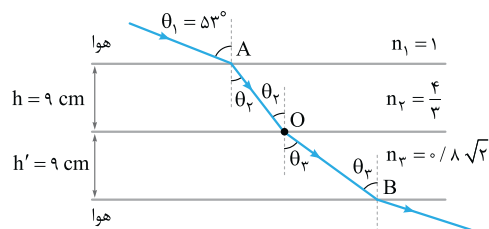
حالا به کمک روابط مثلثاتی در مثلث ABC، فاصله AB را به دست می آوریم:



$$\cos \theta_2 = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} \Rightarrow \cos 30^\circ = \frac{15\sqrt{3}}{l} \Rightarrow l = \frac{15\sqrt{3}}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$$

گام سوم) زمان خواسته شده برابر است با:

$$\ell = vt \Rightarrow \frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^8 \times t \Rightarrow t = \frac{0.3}{\frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^8} = \sqrt{2} \times 10^{-9} \text{ s} \Rightarrow t = \sqrt{2} \text{ ns}$$



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

$$\begin{cases} \text{محیط‌های (۱) و (۲): } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow 1 \times \sin 53^\circ = \frac{4}{3} \times \sin \theta_2 \Rightarrow \sin \theta_2 = 0.6 \Rightarrow \theta_2 = 37^\circ \\ \text{محیط‌های (۲) و (۳): } n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 \Rightarrow \frac{4}{3} \sin 37^\circ = 0.8\sqrt{2} \sin \theta_3 \Rightarrow \sin \theta_3 = \frac{\frac{4}{3} \times 0.6}{0.8\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta_3 = 45^\circ \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} \cos \theta_2 = \frac{h}{AO} \Rightarrow \cos 37^\circ = \frac{0.09}{AO} \Rightarrow \overline{AO} = \frac{0.09}{0.8} = \frac{9}{80} \text{ m} \\ \cos \theta_3 = \frac{h'}{OB} \Rightarrow \cos 45^\circ = \frac{0.09}{OB} \Rightarrow \overline{OB} = \frac{0.09}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{9\sqrt{2}}{100} \text{ m} \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \times 10^8}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{4} \times 10^8 \text{ m/s} \\ v_3 = \frac{c}{n_3} = \frac{3 \times 10^8}{0.8\sqrt{2}} = \frac{30}{8\sqrt{2}} \times 10^8 \text{ m/s} \end{cases}$$

گام چهارم) مدت زمانی که نور فاصله A تا B را طی می‌کند، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$t_{\text{کل}} = t_{AO} + t_{OB} = \frac{\overline{AO}}{v_2} + \frac{\overline{OB}}{v_3} = \frac{\frac{9}{80}}{\frac{9}{4} \times 10^8} + \frac{\frac{9\sqrt{2}}{100}}{\frac{30}{8\sqrt{2}} \times 10^8} = 0.5 \times 10^{-9} + 0.48 \times 10^{-9} = 0.98 \times 10^{-9} \text{ s} \Rightarrow t_{\text{کل}} = 0.98 \text{ ns}$$

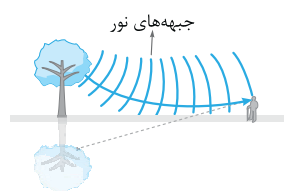
متأسفانه پس از این حل طولانی و زمان‌بر، گزینه درست در بین گزینه‌ها نبود!!



گزینه 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.

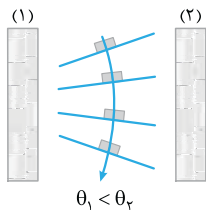
گزینه ۳) پرتو پس از ورود از هوا (محیط رقیق) به منشور شیشه‌ای (محیط غلیظ) به خط عمود نزدیک‌تر شده و به طرف پایین منحرف می‌شود (پرتوهای C و D). پس از عبور از منشور، پرتو عمود بر سطح کره می‌تابد، پس بدون شکست از آن عبور می‌کند (پرتوی D).

گزینه ۲) 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 ۲)؛ 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)



گزینه ۴) داستان این تست شبیه به پدیده سراب است. لایه‌های هوای سالن که به دیواره گرم‌تر (۲) نزدیک‌ترند،

دمای بالاتر و در نتیجه چگالی کم‌تری دارند. این کاهش چگالی باعث کاهش ضریب شکست هوای کنار دیواره (۲) نسبت به ضریب شکست هوای کنار دیواره (۱) می‌شود و طبق رابطه وارون ضریب شکست و تندی نور ($v \propto \frac{1}{n}$)، جبهه‌های موج در کنار دیواره (۲) تندتر از جبهه‌های موج در کنار دیواره (۱) حرکت می‌کنند و فاصله بین جبهه‌های موج در کنار دیواره (۲) مطابق شکل بیشتر از فاصله بین جبهه‌ها موج در کنار دیواره (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.



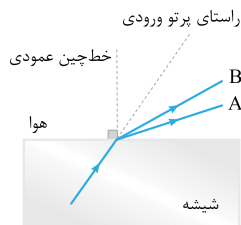
۲۰۴۱- گزینه ۳ گفتیم که عموماً ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های کوتاه‌تر، بیشتر است؛ بنابراین با توجه به بلندتر بودن طول موج

نور قرمز از نور بنفش، ضریب شکست شیشه برای نور قرمز کم‌تر از نور بنفش است، یعنی $n_r < n_v$.

$$n = \frac{c}{v} \xrightarrow{\text{ثابت } c} \frac{n_r}{n_v} = \frac{v_v}{v_r} \xrightarrow{n_r < n_v} \frac{v_v}{v_r} < 1 \Rightarrow v_r > v_v$$

حالا از تعریف ضریب شکست داریم:

⚠ ضریب شکست خلأ برای همه طول موج‌ها برابر یک است.



۲۰۴۲- گزینه ۲ 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، زاویه شکست پرتویی بزرگ‌تر است که ضریب شکست شیشه برای آن، بزرگ‌تر باشد.

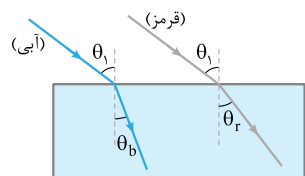
$$n \sin i = n_{\text{هوا}} \sin r \Rightarrow \sin r = \left(\frac{n}{n_{\text{هوا}}}\right) \sin i \xrightarrow{n_A > n_B} r_A > r_B$$

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

۲۰۴۳- گزینه ۲ 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 زیر 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.



$$n_a \sin \theta_1 = n_b \sin \theta_b \quad (1)$$

$$n_a \sin \theta_1 = n_r \sin \theta_r \quad (2)$$

$$(1) = (2) \Rightarrow n_b \sin \theta_b = n_r \sin \theta_r \xrightarrow{n_b > n_r} \theta_b < \theta_r$$

۲۰۴۴- گزینه ۱ ضریب شکست تیغه برای نور آبی بیشتر از نور قرمز است؛ پس پرتوی آبی در تیغه بیشتر

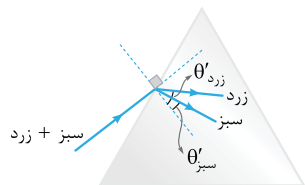
از پرتوی قرمز منحرف می‌شود و در نتیجه در داخل تیغه، دو پرتو در حال نزدیک شدن به یکدیگر هستند و همگرا می‌باشند. از طرف دیگر پس از شکست مجدد دو پرتو و ورود آن‌ها به هوا، هر دو پرتو به موازات امتداد اولیه خود خارج می‌شوند که در این حالت دو پرتوی آبی و قرمز با هم موازی می‌باشند.



۲۰۴۵- گزینه 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 زاویه شکست دو پرتو می‌توان نوشت:

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

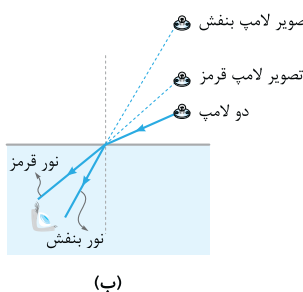
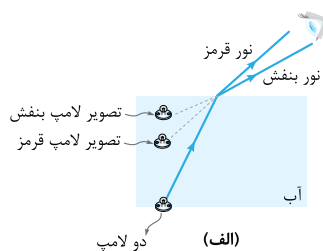


۲۰۴۶- گزینه ۳ گام اول گفتیم که هر چه طول موج نور تکرنگ

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.

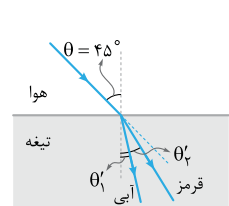
گام دوم در حالت دوم و مطابق شکل (ب) به دلیل انحراف بیشتر نور بنفش نسبت به نور قرمز، تصویر لامپ بنفش در ارتفاع بیشتری (بالتر) دیده می‌شود.



۲۰۴۷- گزینه ۲ 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) نشان‌دهنده پرتوی قرمز است.

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



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{پرتوی آبی: } n_1 \sin \theta = n'_1 \sin \theta'_1 \xrightarrow{n_1=1, \theta=45^\circ} 1 \times \sin 45^\circ = \sqrt{2} \times \sin \theta'_1 \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \times \sin \theta'_1 \\ \Rightarrow \sin \theta'_1 = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta'_1 = 30^\circ \\ \text{پرتوی قرمز: } n_1 \sin \theta = n'_2 \sin \theta'_2 \xrightarrow{n_1=1, \theta=45^\circ} 1 \times \sin 45^\circ = \frac{5\sqrt{2}}{6} \times \sin \theta'_2 \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{5\sqrt{2}}{6} \sin \theta'_2 \\ \Rightarrow \sin \theta'_2 = 0.6 \Rightarrow \theta'_2 = 37^\circ \end{array} \right.$$

$$\Delta\theta = \theta'_2 - \theta'_1 = 37^\circ - 30^\circ = 7^\circ$$

زاویه بین دو پرتو برابر است با: