فهرست

فصل ۱
فیزیک و اندازه‌گیری ۷

فصل ۲
ویژگی‌های فیزیکی مواد ۲۰

فصل ۳
کار، انرژی و توان ۵۱

فصل ٤
دما و گرما ۶۸

فصل ۵
ترمودینامیک ۹۸

فصل ٦
الکتریسیتهٔ ساکن ۱۱۷

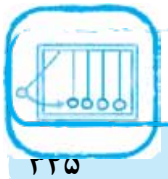
فصل ۷
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۱۵۰

فصل ۸
مغناطیس ۱۹۱

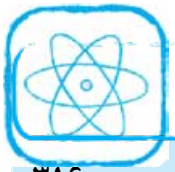
فصل ۹
القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ۲۱۱

فصل ۱۰
حرکت بر خط راست

فصل ۱۱
دینامیک و حرکت دایره‌ای ۲۹۳


فصل ۱۲
نوسان و موج ۳۲۵

فصل ۱۳
برهم‌کنش‌های موج ۳۶۰


فصل ۱٤
آشنایی با فیزیک اتمی ۳۸۶

فصل ۱۵
آشنایی با فیزیک هسته‌ای ۴۰۳

پاسخ‌نامهٔ تشریحی ۴۱۵
پاسخ‌نامهٔ کلیدی ۷۸۸

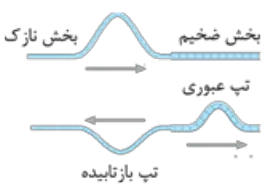
(درس ۲)

شکست موج و پراش موج

شکست موج

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

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

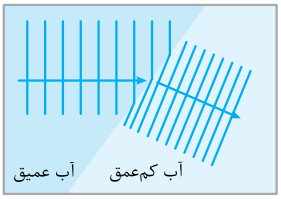


$$v=\sqrt{\frac{F}{\mu}} \xrightarrow{\mu_{\text{ضخیم}}>\mu_{\text{نازک}}} v_{\text{ضخیم}}<v_{\text{نازک}} \xrightarrow[f_{\text{ضخیم}}=f_{\text{نازک}}]{\lambda=\frac{v}{f}} \lambda_{\text{ضخیم}}<\lambda_{\text{نازک}}$$

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

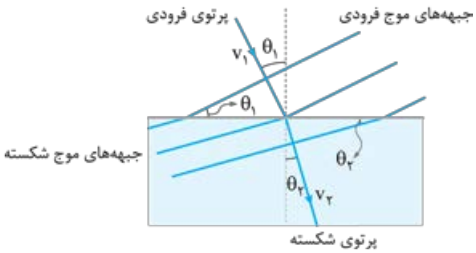
شکست موج: اگر موجی که در محیط‌های دو یا سه‌بعدی منتشر می‌شود، به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگری شود، جهت انتشار آن تغییر می‌کند و اصطلاحاً **شکست** پیدا می‌کند. در اثر این رویداد، تندی موج و طول موجِ موج تغییر می‌کند.

نمونه۲ یک تیغهٔ شیشه‌ای ضخیم را در گوشه‌ای از یک تشت موج قرار می‌دهیم به طوری که عمق آب در بالای شیشه به طرز محسوسی کم‌تر از عمق آب در جاهای دیگر تشت باشد. در همین حال امواج تختی را بر سطح آب‌های عمیق‌تر ایجاد می‌کنیم. زمانی که امواج به آب‌های **کم‌عمق** وارد می‌شوند، بسامد آن‌ها تغییر نمی‌کند، اما تندی و در نتیجه طول موج آن‌ها **کاهش** می‌یابد و مطابق شکل مقابل، فاصلهٔ بین جبهه‌های موج کم می‌شود و به این ترتیب جبهه‌های موج تغییر جهت می‌دهند.



قانون شکست عمومی

مطابق شکل مقابل، اگر موج به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگری شود، در لحظهٔ عبور از مرز دو محیط تغییر مسیر می‌دهد. زاویهٔ پرتوی فرودی با خط عمود بر مرز دو محیط (زاویهٔ جبهه‌های موج فرودی با مرز دو محیط) را «زاویهٔ تابش (θ_i)» و زاویهٔ پرتوی شکسته با خط عمود بر مرز دو محیط (زاویهٔ جبهه‌های موج شکسته با مرز دو محیط) را «زاویهٔ شکست (θ_r)» می‌نامند. در شکل مقابل θ_i را با $\theta_۱$ و θ_r را با $\theta_۲$ نشان داده‌ایم. طبق قانون شکست عمومی اگر تندی انتشار موج فرودی را با $v_۱$ و تندی انتشار موج شکسته را با $v_۲$ نشان دهیم، رابطهٔ مقابل برقرار است:

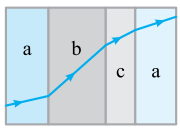


$$\frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱}=\frac{v_۲}{v_۱}$$

اگر تندی موج در اثر تغییر محیط افزایش یابد، زاویهٔ شکست بزرگ‌تر از زاویهٔ تابش می‌شود: $v_۲ > v_۱ \Rightarrow \theta_۲ > \theta_۱$

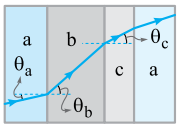
و اگر تندی موج در اثر تغییر محیط کاهش یابد، زاویهٔ شکست کوچک‌تر از زاویهٔ تابش می‌شود: $v_۲ < v_۱ \Rightarrow \theta_۲ < \theta_۱$

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



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

پاسخ گزینهٔ۴ هر چه زاویهٔ پرتو با خط عمود کم‌تر باشد، تندی نور در آن محیط کم‌تر است. بنابراین با توجه به شکل روبه‌رو داریم:



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

ضریب شکست: نسبت تندی نور در خلأ ($c \simeq ۳\times۱۰^۸\ m/s$) به تندی نور در یک محیط را **ضریب شکست** آن محیط می‌گویند و آن را با n نشان می‌دهند:

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

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

نکته۱ اگر تندی نور در دو محیط (۱) و (۲) را با $v_۱$ و $v_۲$ نشان دهیم، آن‌گاه: $v=\frac{c}{n} \Rightarrow \frac{v_۲}{v_۱}=\frac{n_۱}{n_۲}$

نکته۲ تندی نور در خلأ بیشینه و برابر $v=c\simeq ۳\times۱۰^۸\ m/s$ است؛ بنابراین، ضریب شکست خلأ کم‌ترین مقدار ممکن و برابر ۱ است:

$$n_{\text{خلأ}}=n_{min}=۱ \Rightarrow n_{\text{محیط‌های مادی}}>۱$$

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

تست **اگر ضریب شکست آب $\frac{۴}{۳}$ و تندی نور در آب $۲۲۵۰۰۰\ km/s$ باشد، تندی نور در شیشه چند کیلومتر بر ثانیه است؟ (ضریب شکست شیشه $\frac{۳}{۲}$ است.)** (آزاد ریاضی ■ ۸۷)

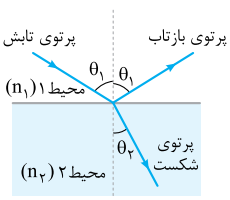
۱) $\frac{۱}{۲}\times۱۰^۵$ ۲) ۴×۱۰^۵ ۳) ۲×۱۰^۵ ۴) $\frac{۱}{۴}\times۱۰^۵$

پاسخ گزینهٔ۳ مشخصات وابسته به شیشه را با زیروند g و مشخصات وابسته به آب را با زیروند w نشان می‌دهیم و با استفاده از نکتهٔ ۱، می‌نویسیم:

$$\frac{v_g}{v_w}=\frac{n_w}{n_g} \Rightarrow \frac{v_g}{۲۲۵۰۰۰}=\frac{\frac{۴}{۳}}{\frac{۳}{۲}} \Rightarrow v_g=۲۲۵۰۰۰\times\frac{۸}{۹}=۲۰۰۰۰۰\ km/s \Rightarrow v_g=۲\times۱۰^۵\ km/s$$

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 $n_۱$ و $n_۲$ نشان دهیم، آن‌گاه:



$$\begin{cases}\frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱}=\frac{v_۲}{v_۱}\\ \frac{v_۲}{v_۱}=\frac{n_۱}{n_۲}\end{cases} \Rightarrow \frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱}=\frac{n_۱}{n_۲} \Rightarrow \boxed{n_۱\sin\theta_۱=n_۲\sin\theta_۲}$$

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:

$$n_۲ > n_۱ \Rightarrow \theta_۲ < \theta_۱$$

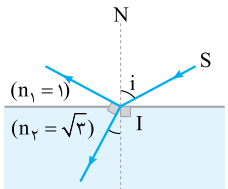
و اگر نور از محیطی با ضریب شکست **بیشتر** به محیطی با ضریب شکست **کم‌تر** بتابد (مثلاً از آب وارد هوا شود)، از خط عمود **دور** می‌شود:

$$n_۲ < n_۱ \Rightarrow \theta_۲ > \theta_۱$$

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

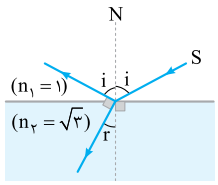
$$D = |\theta_۲ - \theta_۱|$$

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



۱) ۱۵ ۲) ۳۰ ۳) ۴۵ ۴) ۶۰

پاسخ **گزینهٔ 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:



$$i + r = ۹۰^\circ$$

از طرفی، طبق قانون اسنل:

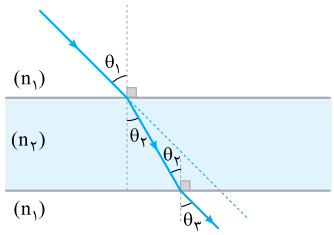
$$n_۱ \sin i = n_۲ \sin r \Rightarrow ۱ \times \sin i = \sqrt{۳} \times \sin(۹۰^\circ - i) \Rightarrow \sin i = \sqrt{۳} \cos i \Rightarrow \tan i = \sqrt{۳} \Rightarrow i = ۶۰^\circ$$

تیغهٔ متوازی‌السطوح

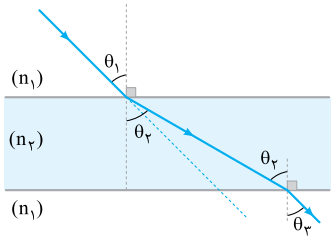
تیغهٔ متوازی‌السطوح به فضای بین دو سطح تخت موازی می‌گویند که ماده‌ای با ضریب شکست متفاوت از محیط، آن را اشغال کرده باشد. برای مثال، یک تیغهٔ شیشه‌ای با سطوح تخت موازی را می‌توان یک تیغهٔ متوازی‌السطوح محسوب کرد. اگر یک پرتو از تیغهٔ متوازی‌السطوح عبور کند و دوباره وارد محیط اول شود، به موازات پرتوی اولیه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

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

$$\begin{cases} n_۱ \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \\ n_۲ \sin\theta_۲ = n_۱ \sin\theta_۳ \end{cases} \Rightarrow n_۱ \sin\theta_۱ = n_۱ \sin\theta_۳ \Rightarrow \theta_۱ = \theta_۳$$

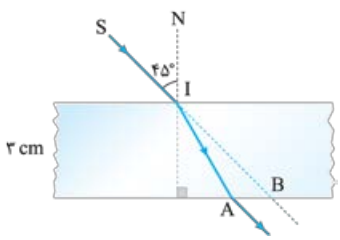


(الف) $n_۲ > n_۱$



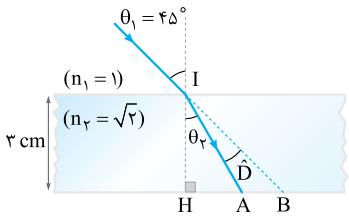
(ب) $n_۲ < n_۱$

تست **در شکل روبه‌رو، پرتوی SI با زاویهٔ تابش ۴۵°، به سطح یک تیغهٔ شیشه‌ای به ضخامت ۳ cm می‌تابد و در نقطهٔ A از تیغه خارج می‌شود. اگر راستای SI در نقطهٔ B از شیشه خارج شود، AB چند سانتی‌متر است؟ ($\sqrt{۲}$ = ضریب شکست تیغهٔ شیشه‌ای)** *(سراسری ریاضی ■ ۹۱)*



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

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



$$n_۱ \sin\theta_۱ = n_۲ \sin\theta_۲ \Rightarrow ۱ \times \sin ۴۵^\circ = \sqrt{۲} \times \sin\theta_۲$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{۲}}{۲} = \sqrt{۲} \sin\theta_۲ \Rightarrow \sin\theta_۲ = \frac{۱}{۲} \Rightarrow \theta_۲ = ۳۰^\circ$$

گام دوم در مثلث قائم‌الزاویهٔ ΔIHA می‌توان نوشت:

$$\tan\theta_۲ = \frac{AH}{IH} \Rightarrow \tan ۳۰^\circ = \frac{AH}{۳} \Rightarrow \frac{\sqrt{۳}}{۳} = \frac{AH}{۳} \Rightarrow AH = \sqrt{۳}\ \text{cm}$$

گام سوم در مثلث قائم‌الزاویهٔ ΔIHB می‌توان نوشت:

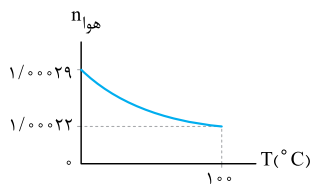
$$\tan(\theta_۲ + D) = \frac{BH}{IH} \xrightarrow{\theta_۲ + \hat{D} = \theta_۱ = ۴۵^\circ} \tan ۴۵^\circ = \frac{BH}{۳} \Rightarrow ۱ = \frac{BH}{۳} \Rightarrow BH = ۳\ \text{cm}$$

گام چهارم طول AB به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

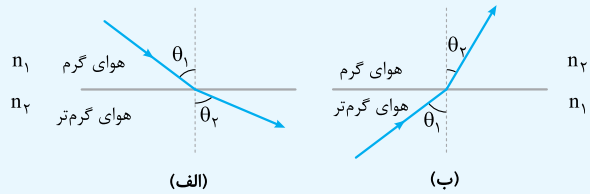
$$AB = BH - AH \Rightarrow AB = (۳ - \sqrt{۳})\ \text{cm}$$

سراب

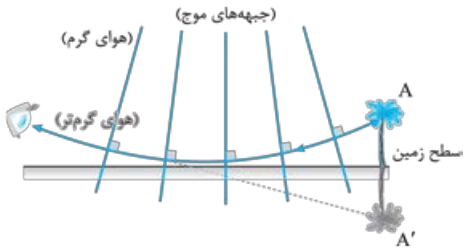
وابستگی ضریب شکست هوا به دما: هر چه دمای هوا **بالاتر** باشد، چگالی هوا و ضریب شکست آن **کم‌تر** است. شکل مقابل نمودار تغییرات ضریب شکست هوا با دما را نشان می‌دهد.



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



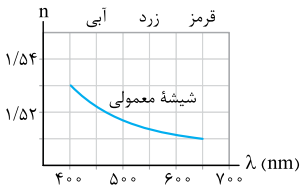
سراب: شکل زیر مدل ساده‌شده‌ای از حرکت یک پرتوی نور در یک روز گرم تابستانی است که نشان می‌دهد پدیدهٔ سراب چگونه اتفاق می‌افتد. در یک روز گرم، لایه‌های هوای مجاور سطح زمین گرم‌تر از لایه‌های هوای بالاتر هستند؛ بنابراین ضریب شکست هوا در نزدیکی سطح زمین کم‌تر و تندی نور در این ناحیه بیشتر از مناطق بالاتر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



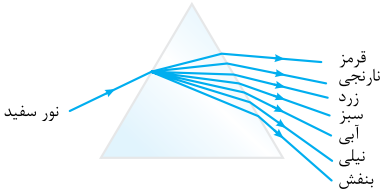
پاشندگی نور

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

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

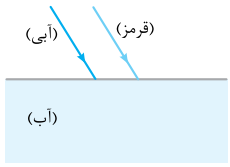


پاشندگی نور در منشور: اگر یک نور مرکب (شامل چند طول موج) به طور مایل از یک محیط وارد محیط دیگر شود، به نورهای سازندهٔ آن تجزیه می‌شود. به این پدیده «**پاشندگی نور**» می‌گویند. شکل مقابل نحوهٔ پاشندگی نور مرکب توسط منشور را نشان می‌دهد.

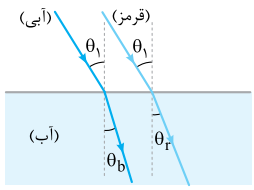


تست **در شکل روبه‌رو، دو پرتوی آبی و قرمزرنگ با زاویهٔ تابش یکسان از هوا به سطح آب می‌تابند. وضعیت دو پرتو در آب چگونه است؟**

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



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



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

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

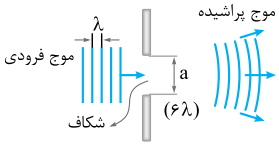
پراش

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

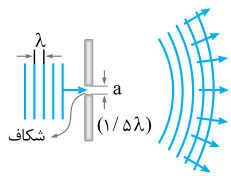
الف) اگر مطابق شکل (الف)، پهنای شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول موج باشد، موجی که از شکاف عبور می‌کند شکل تخت خود را تا حد زیادی حفظ می‌کند. البته همان‌طور که شکل نشان می‌دهد موج در نزدیکی لبه‌های مانع کمی خم می‌شود، ولی ویژگی‌های دیگر موج مثل تندی انتشار، طول موج و بسامد موج تغییر نمی‌کنند.

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

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



(الف)

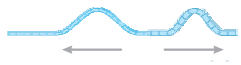


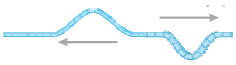
(ب)

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۲۳۲۵- شکل مقابل، عبور یک تپ در طول طنابی را نشان می‌دهد که از دو بخش، یکی نازک و دیگری ضخیم تشکیل شده است. کدام شکل تپ عبوری و تپ بازتابیده در این طناب را به درستی نشان می‌دهد؟ (جنس طناب در تمام طول آن یکسان است) (کتاب درسی ■)

بخش ضخیم — بخش نازک

۱) 

۲) 

۳)

۴)

۲۳۲۶- در شکل مقابل، تپی در بخش ضخیم یک طناب مرکب در جهت نشان داده شده در حال انتشار است. جنس دو قسمت طناب یکسان است. اگر بسامد و طول موج تپ بازتابیده به ترتیب f_2 و λ_2 و همین کمیت‌ها برای تپ عبوری به ترتیب f_1 و λ_1 باشند، کدام گزینه درست است؟ (کتاب درسی ▲)

بخش ضخیم — بخش نازک

۱) $\lambda_2 = \lambda_1 ، f_2 > f_1$

۲) $\lambda_2 < \lambda_1 ، f_2 > f_1$

۳) $\lambda_2 = \lambda_1 ، f_2 = f_1$

۴) $\lambda_2 < \lambda_1 ، f_2 = f_1$

۲۳۲۷- در تشت موج شکل مقابل به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای که با بسامد ۵ Hz کار می‌کند، امواج تختی ایجاد می‌کنیم، به طوری که فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی آن برابر با ۱۰ cm می‌شود. اکنون بُرهٔ شیشه‌ای را در کف این تشت قرار می‌دهیم. اگر تندی امواج در ناحیهٔ کم‌عمق، ۰/۴ برابر تندی امواج در ناحیهٔ عمیق باشد، به ترتیب تندی و طول موج امواج در ناحیهٔ کم‌عمق چند سانتی‌متر بر ثانیه و چند سانتی‌متر می‌شود؟ (کتاب درسی ■)

چشمهٔ موج تخت — آب — برهٔ شیشه‌ای

۱) ۲۰، ۴

۲) ۲۰، ۲۵

۳) ۵۰، ۴

۴) ۵۰، ۲۵

۲۳۲۸- در شکل مقابل، موج نوری فرودی از هوا وارد شیشه می‌شود. بخشی از موج در سطح جدایی دو محیط بازمی‌تابد و بخشی دیگر شکست می‌یابد و وارد شیشه می‌شود. کدام‌یک از مشخصه‌های زیر برای موج بازتابیده و موج شکست‌یافته یکسان است؟ (کتاب درسی ■)

شیشه — هوا

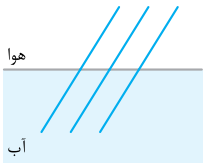
۱) تندی

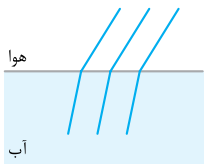
۲) طول موج

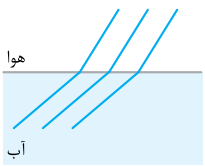
۳) امتداد

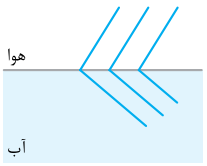
۴) بسامد

۲۳۲۹- نوری به طور مایل از هوا به آب می‌تابد. کدام شکل جبهه‌های موج در این دو محیط را به درستی نشان می‌دهد؟ (کتاب درسی ▲)

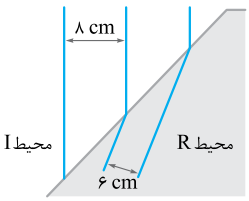
۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۲۳۳۰- شکل مقابل، جبهه‌های موجی را نشان می‌دهد که بر مرز بین محیط I و محیط R فرود آمده‌اند. اگر بسامد چشمهٔ موج ۱۰ Hz باشد، با ورود موج از محیط I به محیط R تندی موج چند سانتی‌متر بر ثانیه و چگونه تغییر می‌کند؟ (کتاب درسی ▲)



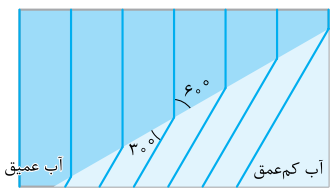
۱) ۲، کاهش

۲) ۲، افزایش

۳) ۲۰، کاهش

۴) ۲۰، افزایش

۲۳۳۱- شکل مقابل، طرحی از شکست امواج سطحی در مرز آب عمیق و آب کم‌عمق را نشان می‌دهد. تندی موج سطحی در آب عمیق چند برابر تندی موج سطحی در آب کم‌عمق است؟ (کتاب درسی ▲)



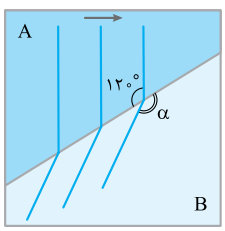
۱) $\sqrt{2}$

۲) $\sqrt{3}$

۳) ۲

۴) ۳

۲۳۳۲- شکل روبه‌رو نمای بالا از جبهه‌های تخت متوالی را در سطح آب یک تشت موج نشان می‌دهد که عمق بخش‌های A و B در آن یکسان نیست. اگر تندی موج عرضی در سطح آب بخش‌های A و B به ترتیب ۳۰ cm / s و $10\sqrt{3}$ cm / s باشد، عمق آب در بخش ..... کم‌تر از بخش دیگر بوده و زاویهٔ α در شکل برابر با ..... است.



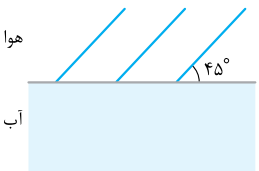
۱) ۱۳۵ ـ A

۲) ۱۵۰ ـ A

۳) ۱۳۵ ـ B

۴) ۱۵۰ ـ B

۲۳۳۳- مطابق شکل مقابل جبهه‌های تخت یک موج صوتی از هوا وارد آب شده و پس از ورود به محیط دوم ۸° از امتداد انتشار اولیه منحرف می‌شوند. تندی صوت در آب چند متر بر ثانیه است؟ ($\sin 37^\circ = 0/6$ ، $\sqrt{2} \simeq 1/4$ و تندی صوت در هوا را ۳۳۶ m / s در نظر بگیرید.)



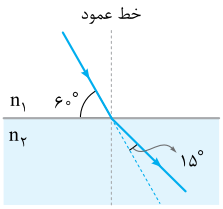
۱) ۲۸۸

۲) ۳۸۴

۳) ۲۹۴

۴) ۳۹۲

۲۳۳۴- 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؟ *(سراسری ریاضی ■ ۹۹)*



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

۲۳۳۵- طول موج نور قرمز لیزر هلیم ـ نئون در هوا حدود ۶۲۵ nm است، ولی در زجاجیهٔ چشم ۵۰۰ nm است. بسامد این نور برحسب هرتز و ضریب شکست زجاجیه به ترتیب تقریباً مطابق کدام گزینه است؟ $(c = ۳\times۱۰^۵ \ km/s)$ *(کتاب درسی ■)*

۱) $۱/۲۵ ، ۴/۸\times۱۰^{۱۱}$
۲) $۰/۸ ، ۴/۸\times۱۰^{۱۱}$
۳) $۱/۲۵ ، ۴/۸\times۱۰^{۱۴}$
۴) $۰/۸ ، ۴/۸\times۱۰^{۱۴}$

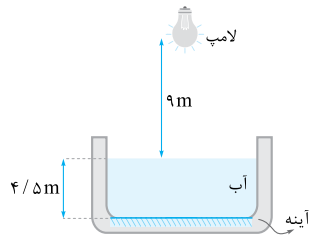
۲۳۳۶- ضریب شکست شیشه نسبت به آب $\frac{۹}{۸}$ و ضریب شکست الماس نسبت به شیشه برابر $\frac{۸}{۵}$ است. در مدت‌زمانی که نور مسافت ۳۶ سانتی‌متر را در آب طی می‌کند، چند سانتی‌متر را در الماس طی می‌کند؟ *(سراسری تجربی ▲ ۶۵)*

۱) ۱۵
۲) ۲۰
۳) ۴۸
۴) ۶۴/۸

۲۳۳۷- در خلأ، طول موج نور قرمز $\frac{۷}{۴}$ 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 $\frac{۴}{۳}$ است.)

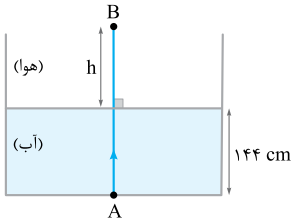
۱) $\frac{۷}{۶}$
۲) $\frac{۷}{۳}$
۳) $\frac{۱۴}{۳}$
۴) $\frac{۲۱}{۱۶}$

۲۳۳۸- در شکل روبه‌رو، حداقل زمان لازم برای آن‌که نور لامپ پس از گذشتن از هوا، آب و بازتابش از روی آینهٔ تخت افقی که در کف مخزن نصب شده، دوباره به لامپ برگردد، چند ثانیه است؟ $(c = ۳\times۱۰^۸ \ m/s, n_{آب} = \frac{۴}{۳})$ *(سراسری تجربی ■ ۹۳ خارج)*



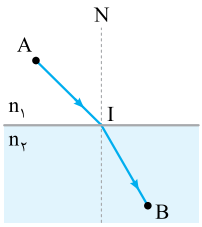
۱) ۲×۱۰^{-۸}
۲) ۵×۱۰^{-۸}
۳) ۹×۱۰^{-۸}
۴) $۱۰^{-۷}$

۲۳۳۹- مطابق شکل، یک پرتوی نور به صورت قائم از نقطهٔ A در کف ظرف آبی به طرف بالا می‌تابد و به نقطهٔ B در هوا می‌رسد. اگر در مسیر AB، مدت‌زمانی که این پرتو از آب می‌گذرد، با مدت‌زمان عبور آن در هوا برابر باشد، h چند سانتی‌متر است؟ (ضریب شکست آب $\frac{۴}{۳}$ برابر ضریب شکست هوا است.)



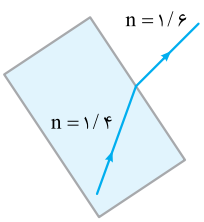
۱) ۸۱
۲) ۱۰۸
۳) ۱۹۲
۴) ۲۵۶

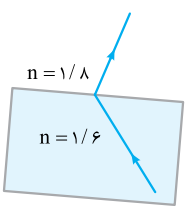
۲۳۴۰- در شکل روبه‌رو، پرتویی از نقطهٔ A در محیطی به ضریب شکست n_1، به نقطهٔ B در محیط دوم که ضریب شکست آن n_2 است، می‌رسد. اگر $AI = IB = L$ بوده و تندی نور در محیط اول برابر v_1 باشد، زمان رسیدن نور از A تا B کدام است؟ *(سراسری ریاضی ■ ۹۲)*

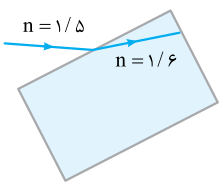


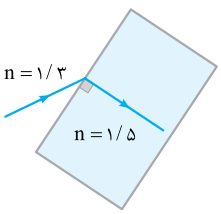
۱) $\frac{L}{v_1}(۱+\frac{n_2}{n_1})$
۲) $\frac{L}{v_1}(۱+\frac{n_1}{n_2})$
۳) $\frac{۲L}{v_1}(۱-\frac{n_2}{n_1})$
۴) $\frac{۲L}{v_1}(۱-\frac{n_1}{n_2})$

۲۳۴۱- کدام‌یک از شکل‌های زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟ *(کتاب درسی ■)*

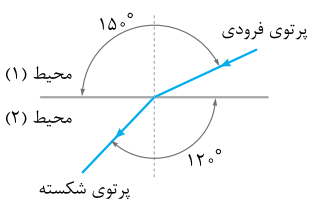
۱) 

۲) 

۳) 

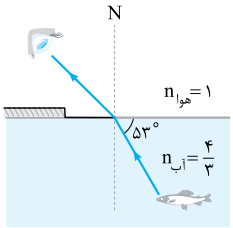
۴) 

۲۳۴۲- 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.



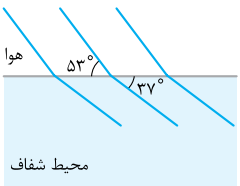
۱) $۲\sqrt{۳}$ ، $\sqrt{۳}$
۲) $\sqrt{۳}$ ، $\frac{۲\sqrt{۳}}{۳}$
۳) $۲\sqrt{۳}$ ، $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$
۴) $\frac{۲\sqrt{۳}}{۳}$ ، $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$

۲۳۴۳- مطابق شکل، پرتوی نوری که از ماهی به چشمان شخص می‌رسد، تحت زاویهٔ 53° به مرز آب ـ هوا برخورد کرده است. زاویهٔ شکست این پرتو در هوا چند درجه است؟ ($n_{آب}=\frac{4}{3}$ و $\sin 37^\circ = 0/6$) (کتاب درسی ▲)



۱) 30°
۲) 37°
۳) 45°
۴) 53°

۲۳۴۴- شکل مقابل، جبهه‌های موج نور تختی را نشان می‌دهد که از هوا وارد محیط شفافی می‌شود. ضریب شکست این محیط شفاف چه‌قدر است؟ ($\sin 37^\circ = 0/6$)

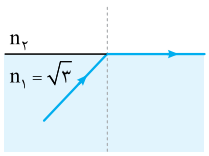


۱) ۲
۲) $\frac{3}{2}$
۳) $\frac{4}{3}$
۴) $\frac{5}{4}$

۲۳۴۵- پرتوی تک‌رنگی با زاویهٔ تابش 53° از هوا به آب می‌تابد. این پرتو در ضمن ورود به آب چند درجه نسبت به راستای اولیهٔ خود منحرف می‌شود؟ ($n_{آب}=\frac{4}{3}, \sin 53^\circ = 0/8$) (سراسری تجربی ▲۹۰ خارج)

۱) ۱۵
۲) ۱۶
۳) ۳۰
۴) ۳۷

۲۳۴۶- در شکل مقابل، پرتوی نور در ورود از محیط $n_1=\sqrt{3}$ به محیط n_2، به اندازهٔ 30° درجه منحرف می‌شود. تندی نور در محیط n_2 چند متر بر ثانیه است؟ ($c=3\times10^8\ m/s$) (سراسری ریاضی ▲۸۸ خارج، مشابه سراسری تجربی ۸۱)

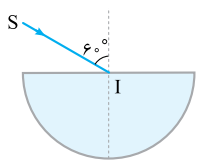


۱) $1/5\times10^8$
۲) $\sqrt{3}\times10^8$
۳) 2×10^8
۴) $\frac{3\sqrt{2}}{2}\times10^8$

۲۳۴۷- پرتوی تک‌رنگی از هوا وارد محیطی به ضریب شکست ۱/۶ می‌شود. اگر زاویهٔ تابش، ۲ برابر زاویهٔ انحراف باشد، زاویهٔ تابش چند درجه بوده است؟ ($\sin 37^\circ = 0/6$)

۱) ۳۰
۲) ۳۷
۳) ۶۰
۴) ۷۴

۲۳۴۸- مطابق شکل، پرتوی تک‌رنگ SI از هوا به مرکز نیم‌استوانهٔ شفافی به ضریب شکست $\sqrt{\frac{3}{2}}$ می‌تابد و از طرف دیگر آن خارج می‌شود. پرتوی خروجی نسبت به پرتوی SI چند درجه منحرف شده است؟ (سراسری تجربی ▲۷۵)



۱) صفر
۲) ۱۵
۳) ۳۰
۴) ۴۵

۲۳۴۹- تندی انتشار نور در یک محیط شفاف نیمی از تندی انتشار نور در هوا است. اگر زاویهٔ تابش در هوا را از صفر تا 90° تغییر دهیم، زاویهٔ انحراف در این مایع شفاف حداکثر چند درجه می‌شود؟

۱) ۳۰
۲) ۴۵
۳) ۶۰
۴) ۹۰

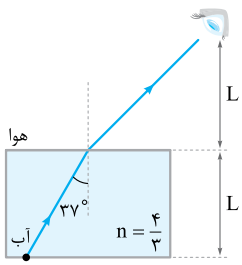
۲۳۵۰- ضریب شکست یک محیط شفاف نسبت به هوا $\sqrt{2}$ است. یک پرتوی نور تک‌رنگ، تحت زاویهٔ i از هوا بر سطح این محیط شفاف می‌تابد و قسمتی از آن بازتابش و قسمتی دیگر شکست پیدا می‌کند. اگر زاویهٔ شکست 30° باشد، زاویهٔ بین پرتوی بازتاب و پرتوی شکست چند درجه است؟ (سراسری ریاضی ▲۹۰ خارج)

۱) ۷۵
۲) ۹۰
۳) ۱۰۵
۴) ۱۲۰

۲۳۵۱- زاویهٔ تابش یک پرتو چند درجه باشد تا وقتی از هوا به محیطی به ضریب شکست $\sqrt{3}$ وارد می‌شود، پرتوی بازتاب بر پرتوی شکست عمود باشد؟ (سراسری ریاضی ▲۸۶ داخل، مشابه سراسری ریاضی ۹۱ خارج)

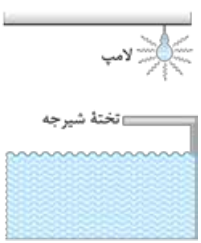
۱) ۳۰
۲) ۳۷
۳) ۴۵
۴) ۶۰

۲۳۵۲- شکل مقابل، مسیری را نشان می‌دهد که در آن یک پرتو از جسمی که در کف آب قرار دارد، به چشم ناظری می‌رسد. مدت‌زمانی که نور در هوا طی می‌کند، چند برابر مدت‌زمانی است که نور در آب حرکت می‌کند تا به چشم شخص برسد؟ ($n_{آب}=\frac{4}{3}$ و $\sin 37^\circ = 0/6$)



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

۲۳۵۳- در شکل مقابل، سایهٔ تختهٔ شیرجه در کف استخر، هنگام پربودن استخر در مقایسه با هنگام خالی‌بودن آن چگونه است؟ (سراسری تجربی ■۸۷ خارج)



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

۲۳۵۴- طول یک تیر عمودی که پایهٔ آن در کف یک استخر قرار دارد، ۲/۴ m است که نصف آن از آب بیرون می‌ماند. در لحظه‌ای که آفتاب با زاویهٔ ۳۷° نسبت به افق می‌تابد، طول سایه‌ای که از تیر به کف استخر می‌افتد، چند متر است؟ ($n_{آب}=\frac{۴}{۳}$, $\sin ۳۷^\circ = ۰/۶$) *(کتاب فیزیک هالیدی ▲)*

۱) ۱/۸ ۲) ۲/۴ ۳) ۲/۵ ۴) ۳/۲

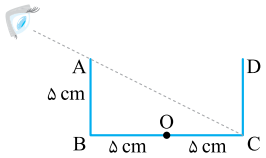
۲۳۵۵- گربه‌ای از هوا به ماهی داخل آب نگاه می‌کند و ماهی هم گربه را می‌بیند. در این صورت گربه، ماهی را ..... از مکان واقعی می‌بیند و ماهی، گربه را ..... از مکان واقعی خود می‌بیند. *(کتاب راهنمای معلم ■)*

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

۲۳۵۶- 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؟ *(سراسری ریاضی ■ ۸۶ خارج)*

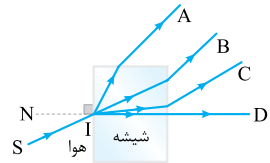
۱) بلندتر و از سطح آب دورتر ۲) کوتاه‌تر و از سطح آب دورتر
۳) کوتاه‌تر و به سطح آب نزدیک‌تر ۴) بلندتر و به سطح آب نزدیک‌تر

۲۳۵۷- مطابق شکل، چشم ناظر در موقعیتی قرار دارد که فقط می‌تواند نقطهٔ C از دیوارهٔ BC را ببیند. اگر ظرف را پر از مایعی به ضریب شکست n کنیم، در این صورت ناظر قادر به دیدن نقطهٔ O در وسط BC می‌شود. n کدام است؟ *(اولین المپیاد فیزیک ایران ■)*



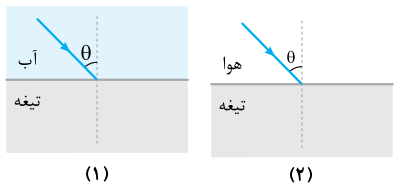
۱) $\frac{۲\sqrt{۱۰}}{۵}$ ۲) $\frac{\sqrt{۱۰}}{۴}$
۳) $\frac{\sqrt{۲}}{۵}$ ۴) $\frac{\sqrt{۱۰}}{۲}$

۲۳۵۸- پرتوی نور تک‌رنگ SI، از هوا بر شیشه می‌تابد. پرتوی شکست کدام است؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۰)*



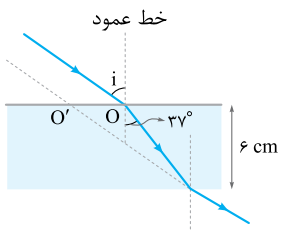
۱) A ۲) B
۳) C ۴) D

۲۳۵۹- مطابق شکل‌های زیر پرتوی نور تک‌رنگی با زاویهٔ تابش یکسان θ در حالت (۱) از آب و در حالت (۲) از هوا به تیغهٔ متوازی‌السطوحی می‌تابد. اگر زاویهٔ شکست پرتو را با θ′ و مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا پرتوی شکست از تیغه خارج شود را با t نشان دهیم، کدام گزینه درست است؟ (زیروندهای ۱ و ۲ مربوط به حالت‌های (۱) و (۲) است و مبدأ زمان را لحظهٔ ورود پرتو به تیغه در نظر بگیرید و $n_{آب} < n_{تیغه}$)



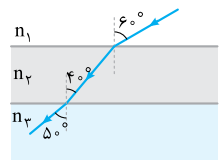
۱) $t_۱ = t_۲ ، \theta'_۱ > \theta'_۲$ ۲) $t_۱ = t_۲ ، \theta'_۱ < \theta'_۲$
۳) $t_۱ > t_۲ ، \theta'_۱ > \theta'_۲$ ۴) $t_۱ > t_۲ ، \theta'_۱ < \theta'_۲$

۲۳۶۰- پرتوی نوری، مطابق شکل زیر از هوا به یک تیغهٔ متوازی‌السطوح می‌تابد و پس از شکست در محیط شفاف، دوباره وارد هوا می‌شود. اگر امتداد پرتوی خروجی در O′ به تیغه برخورد کند و $OO' = ۳/۵\ cm$ باشد، ضریب شکست محیط شفاف چه‌قدر است؟ ($\sin ۳۷^\circ = ۰/۶$) *(سراسری ریاضی ■ ۹۹ خارج)*



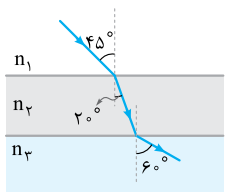
۱) $\frac{۵}{۴}$ ۲) $\frac{۴}{۳}$
۳) $\frac{۳}{۲}$ ۴) $\frac{۵}{۳}$

۲۳۶۱- در شکل روبه‌رو سطح جدایی محیط‌های شفاف با هم موازی‌اند. کدام رابطه بین ضریب شکست این محیط‌ها برقرار است؟ *(سراسری تجربی ■ ۸۶)*



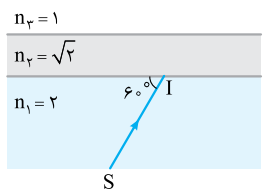
۱) $n_۲ > n_۳ > n_۱$ ۲) $n_۲ > n_۱ = n_۳$
۳) $n_۲ = n_۳ > n_۱$ ۴) $n_۳ > n_۲ > n_۱$

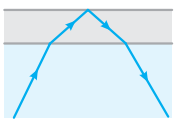
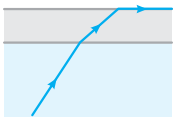
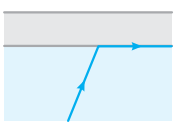
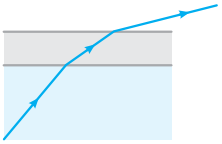
۲۳۶۲- مطابق شکل، پرتوی نوری از محیط شفاف $n_۱$ وارد محیط شفاف $n_۲$ و سپس وارد محیط شفاف $n_۳$ می‌شود. تندی نور در محیط $n_۳$ چند برابر تندی نور در محیط $n_۱$ است؟ *(سراسری تجربی ■ ۹۶)*



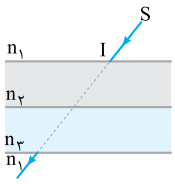
۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ ۲) $\frac{\sqrt{۲}}{۲}$
۳) $\sqrt{\frac{۳}{۲}}$ ۴) $\sqrt{\frac{۲}{۳}}$

۲۳۶۳- در شکل مقابل، با توجه به ضریب شکست محیط‌های شفاف، مسیر پرتوی تک‌رنگ SI به کدام صورت است؟



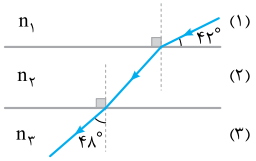
۱) 
۲) 
۳) 
۴) 

۲۳۶۴- در شکل مقابل پرتوی SI پس از عبور از محیط‌های شفاف n_2 و n_3، دوباره به محیط شفاف n_1 برمی‌گردد. اگر راستای پرتو پس از عبور از این دو محیط تغییر نکند، n_2 و n_3 در مقایسه با n_1 چگونه باید باشند؟ (سراسری ریاضی ▲۶۵)



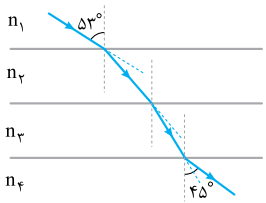
۱) هر دو بزرگ‌تر
۲) هر دو کوچک‌تر
۳) یکی بزرگ‌تر و دیگری کوچک‌تر
۴) الزاماً ضریب شکست هر سه محیط برابر است.

۲۳۶۵- مطابق شکل روبه‌رو، یک پرتوی نور از محیط شفاف (۱) وارد محیط‌های شفاف (۲) و (۳) می‌شود. اگر تندی نور در محیط (۱) برابر با $2/5\times10^8\ m/s$ و ضریب شکست محیط (۲)، ۲۵ درصد بیشتر از ضریب شکست محیط (۳) باشد، تندی نور در محیط (۲) به اندازهٔ ..... کیلومتر بر ثانیه ..... از تندی آن در محیط (۱) است.



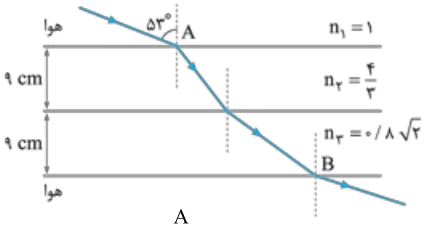
۱) 5×10^4 ـ بیشتر
۲) 5×10^4 ـ کم‌تر
۳) 4×10^5 ـ بیشتر
۴) 4×10^5 ـ کم‌تر

۲۳۶۶- مطابق شکل مقابل پرتوی نوری از محیط شفاف (۱) وارد محیط‌های شفاف دیگر می‌شود. اگر تندی نور در محیط (۲)، ۲۵ درصد کم‌تر از تندی نور در محیط (۱) باشد و تندی نور در محیط (۴)، ۴۰ درصد بیشتر از تندی نور در محیط (۳) باشد، ضریب شکست محیط (۲) چند برابر ضریب شکست محیط (۳) است؟ $(\sin53^\circ=0/8, \sin45^\circ=0/7)$ (سراسری ریاضی ■۹۸)



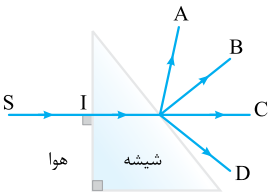
۱) $\frac{4}{3}$
۲) $\frac{6}{5}$
۳) $\frac{3}{4}$
۴) $\frac{5}{6}$

۲۳۶۷- پرتوی نوری مطابق شکل مقابل، از هوا وارد محیط‌های شفافی می‌شود و شکست می‌یابد. این پرتو فاصلهٔ A تا B را در چند نانوثانیه طی می‌کند؟ ($3\times10^8\ m/s$ = تندی نور در هوا، $\sin37^\circ=0/6$) (سراسری تجربی ■۹۹)



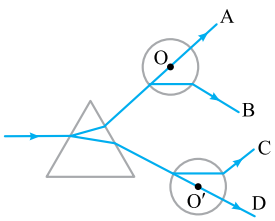
۱) ۰/۶
۲) ۹۶
۳) ۹۸
۴) ۹/۶

۲۳۶۸- در شکل مقابل پرتوی خروجی از منشور مطابق کدام می‌تواند باشد؟



۱) A
۲) B
۳) C
۴) D

۲۳۶۹- شکل روبه‌رو یک منشور و دو کرهٔ شیشه‌ای توپر به مراکز O' و O را نشان می‌دهد که در خلأ فرض شده‌اند. یک پرتوی نور تک‌رنگ بر منشور تابیده است. کدام‌یک از این مسیرها عبور نور را درست نشان می‌دهد؟ (سراسری ریاضی ■۹۲ خارج)

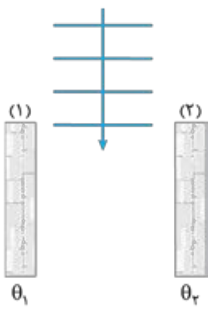


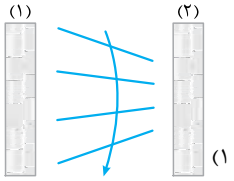
۱) A
۲) B
۳) C
۴) D

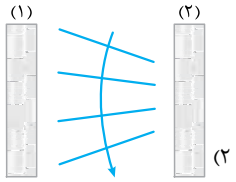
۲۳۷۰- کدام عبارت دربارهٔ پدیدهٔ سراب، نادرست است؟

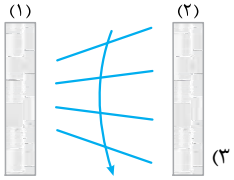
۱) پرتوهای نور هر چه بیشتر به سطح زمین نسبتاً داغ نزدیک می‌شوند، بیشتر به سمت افق خم می‌شوند.
۲) با افزایش دما، چگالی و در نتیجه ضریب شکست هوا کاهش می‌یابد.
۳) تندی جبهه‌های موج در نزدیکی سطح زمین نسبتاً داغ بیش از تندی جبهه‌های موج در بالای سطح زمین است.
۴) سراب را تنها می‌توان دید، ولی نمی‌توان از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

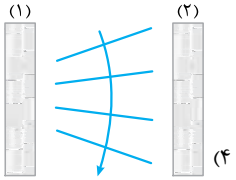
۲۳۷۱- شکل زیر، نمای بالا از سالن بزرگی با دیوارهای قائم بلند (۱) و (۲) را نشان می‌دهد که به ترتیب در دماهای $\theta_1=10^\circ C$ و $\theta_2=40^\circ C$ ثابت نگه داشته می‌شود. اگر مطابق شکل، دسته‌ای از جبهه‌های تخت نور از بین دیوارها وارد سالن شوند، شکل جبهه‌های موج به همراه یک پرتوی آن‌ها در سالن به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ (از اثر پراش در لبهٔ دیوارها چشم‌پوشی کنید.)



۱)


۲)


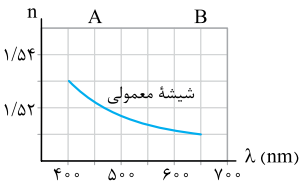
۳)


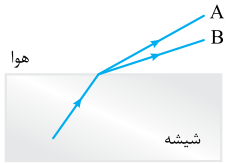
۴)


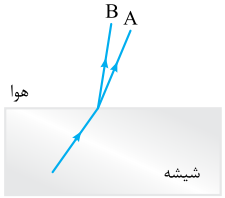
۲۳۷۲- در پاشندگی نور در منشور، کدام رابطه بین ضریب شکست شیشه برای نور قرمز (n_r) و نور بنفش (n_v) و تندی نور قرمز (v_r) و نور بنفش (v_v) در شیشه درست است؟ *(سراسری تجربی ▲۷۹)*

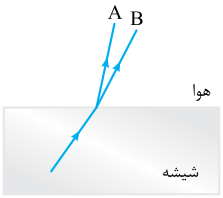
۱) $v_r > v_v , n_r > n_v$ ۲) $v_r < v_v , n_r > n_v$ ۳) $v_r > v_v , n_r < n_v$ ۴) $v_r < v_v , n_r < n_v$

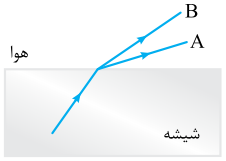
۲۳۷۳- شکل روبه‌رو، نمودار تغییرات ضریب شکست برحسب طول موج در طیف نور مرئی در شیشهٔ معمولی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، کدام گزینهٔ زیر از لحاظ فیزیکی می‌تواند مدل کیفی پرتوی فرودی شامل نورهای A و B را نشان دهد که از شیشه وارد هوا می‌شوند؟



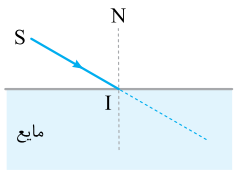
۱) 

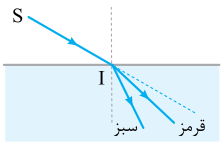
۲) 

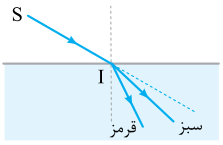
۳) 

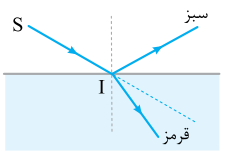
۴) 

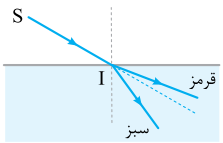
۲۳۷۴- در شکل مقابل، پرتوی فرودی SI شامل نورهای تک‌فام قرمز و سبز است که از هوا وارد یک مایع شفاف می‌شود. کدام‌یک از شکل‌های زیر مسیر شکست نور را درست نشان می‌دهد؟ *(سراسری ریاضی ■۹۸)*



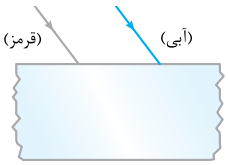
۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

۲۳۷۵- در شکل مقابل، دو پرتوی موازی قرمزرنگ و آبی‌رنگ به یک تیغهٔ متوازی‌السطوح می‌تابند. این دو پرتو در درون تیغه و پس از خارج‌شدن از تیغه به ترتیب از راست به چپ چه وضعیتی نسبت به هم دارند؟



۱) همگرا، موازی ۲) همگرا، واگرا

۳) واگرا، موازی ۴) واگرا، همگرا

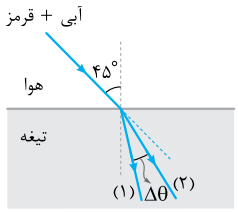
۲۳۷۶- باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی سبز و زرد را به منشور می‌تابانیم. در داخل منشور زاویهٔ شکست پرتوی ..... بزرگ‌تر و میزان انحراف پرتوی ..... بیشتر است.

۱) سبز ـ سبز ۲) زرد ـ سبز ۳) زرد ـ زرد ۴) سبز ـ زرد

۲۳۷۷- 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 ـ قرمز ۲) قرمز ـ قرمز ۳) قرمز ـ بنفش ۴) بنفش ـ بنفش

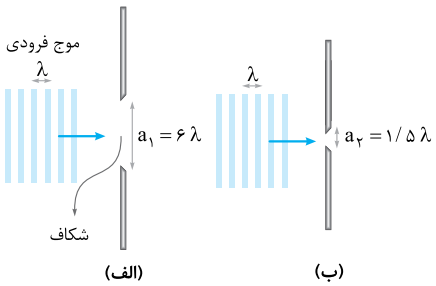
۲۳۷۸- مطابق شکل مقابل، باریکهٔ نوری متشکل از دو پرتوی قرمز و آبی از هوا با زاویهٔ تابش 45° بر سطح تیغهٔ تختی می‌تابد. اگر ضریب شکست تیغه برای این پرتوها به ترتیب برابر $\frac{5\sqrt{2}}{6}$ و $\sqrt{2}$ باشد، به ترتیب پرتوی قرمز کدام است و زاویهٔ بین دو پرتوی شکست درون تیغه ($\Delta\theta$) برابر چند درجه است؟ ($\sin 53^\circ = 0/8 , \sin 37^\circ = 0/6$) *(کتاب درسی ▲)*



۱) 7°، (۱) ۲) (۲)، 16°

۳) 16°، (۱) ۴) (۲)، 7°

۲۳۷۹- شکل‌های مقابل، وضعیت طرح‌واری را نشان می‌دهد که در آن موجی تخت به موانعی می‌رسد که پهنای شکاف‌های آن‌ها a_1 و a_2 است. در شکل ..... نور بیشتر خم شده و به اطراف گسترده می‌شود و به این پدیده ..... می‌گویند. *(کتاب درسی ■)*



۱) (الف)، تداخل

۲) (الف)، پراش

۳) (ب)، تداخل

۴) (ب)، پراش

۲۳۸۰- کدام عبارت دربارهٔ پراش نادرست است؟

۱) برای شکافی با ابعاد معین، پراش امواج رادیویی AM بارزتر از پراش امواج رادیویی FM است.

۲) پراش در صورتی نمایان‌تر است که ابعاد مانع یا شکاف خیلی بزرگ‌تر از طول موج باشد.

۳) پراش برای همهٔ انواع امواج، از جمله موج‌های الکترومغناطیسی و صوتی رخ می‌دهد.

۴) در یک محیط معین، طول موج موج فرودی پس از پراشیده‌شدن از یک شکاف تغییر نمی‌کند.

۲۳۸۱- در تلویزیون‌های متداول سیگنال‌ها از آنتن‌های روی دکل‌ها به گیرنده‌های تلویزیون فرستاده می‌شود. بسامد سیگنال‌های تلویزیونی دیجیتالی که امروزه از آنتن‌ها فرستاده می‌شود، بسیار بیشتر از بسامد سیگنال‌هایی است که در گذشته از آنتن‌ها فرستاده می‌شد. بنابراین امروزه به دلیل ..... پراش سیگنال‌ها در ناحیهٔ سایه، امکان دریافت سیگنال توسط گیرنده‌ای که در معرض ارسال مستقیم امواج نیست، ..... یافته است. (کتاب درسی)

۱) کاهش ـ افزایش ۲) افزایش ـ کاهش ۳) کاهش ـ کاهش ۴) افزایش ـ افزایش

۲۳۸۲- گوشی‌های تلفن همراه با امواج رادیویی با بسامد حدود ۲ GHz کار می‌کنند. حداکثر ابعاد مانعی که سبب پراشیده‌شدن بارز این امواج شود، در چه حدودی است؟ ($c = ۳\times ۱۰^{۸}\ m/s$) (کتاب درسی)

۱) ۱/۵ cm ۲) ۱۵ cm ۳) ۱/۵ m ۴) ۱۵ m

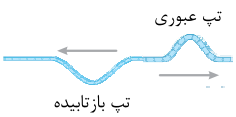
۲۳۸۳- آزمایش پراش را جداگانه برای دو موج تخت یکی با نور بنفش به طول موج ۴۰۰ nm و دیگری با نور نارنجی به طول موج ۶۰۰ nm انجام می‌دهیم. اگر برای هر نور از دو شکاف a و a' به ترتیب با پهناهای ۰/۹ میکرون و ۱/۸ میکرون استفاده کنیم، نقش پراش در کدام آزمایش بارزتر می‌شود؟

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

۲۳۸۴- در هوا و در آزمایش (الف) پرتوهای نور تک‌رنگ از شکافی با پهنای a و در آزمایش (ب) امواج صوتی از شکافی با پهنای a' عبور کرده و پدیدهٔ پراش در هر دو آزمایش رخ می‌دهد. اگر این آزمایش‌ها را بدون تغییر در بقیهٔ عوامل، در آب انجام دهیم، وضوح پدیدهٔ پراش در آزمایش‌های (الف) و (ب) نسبت به حالت قبل (در هوا) چگونه خواهد بود؟ (به ترتیب از راست به چپ)

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

۲۳۲۵- گزینهٔ ۳ وقتی تپ به گره بین دو بخش نازک و ضخیم طناب می‌رسد، بخشی از آن بازتاب می‌شود و بخشی دیگر از آن عبور می‌کند. در تپ عبوری، جهت انتشار ثابت می‌ماند و قله به همان شکل قله باقی می‌ماند. از طرف دیگر گره برای تپی که در قسمت نازک طناب منتشر می‌شود، حکم انتهای بسته (ثابت) را دارد. بنابراین در تپ بازتابیده، قله به دره تبدیل می‌شود و جهت انتشار موج برعکس می‌شود و ۳ درست است.



۲۳۲۶- گزینهٔ ۴ **گام اول** بسامد تپ عبوری و تپ بازتابیده هر دو **برابر** با بسامد چشمهٔ موج است؛ بنابراین بسامد تپ بازتابیده با بسامد تپ عبوری **یکسان** است و داریم:

$$f_۲ = f_۱$$

گام دوم جنس دو قسمت طناب یکسان است $(\rho_۱ = \rho_۲)$؛ با توجه به یکسان‌بودن نیروی کشش دو قسمت طناب $(F_۱ = F_۲)$ داریم:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} \xrightarrow[\rho_۱=\rho_۲]{F_۲=F_۱} \frac{v_۲}{v_۱} = \sqrt{\frac{A_۱}{A_۲}} \xrightarrow{A_۱<A_۲} v_۲ < v_۱$$

بنابراین:

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{f_۲=f_۱} \frac{\lambda_۲}{\lambda_۱} = \frac{v_۲}{v_۱} \xrightarrow{v_۲<v_۱} \lambda_۲ < \lambda_۱$$

۲۳۲۷- گزینهٔ ۱ **گام اول** فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی برابر طول موج است، پس طول موج در ناحیهٔ عمیق برابر $\lambda_۱ = ۱۰\ cm$ است و بنابراین تندی امواج در ناحیهٔ عمیق برابر است با:

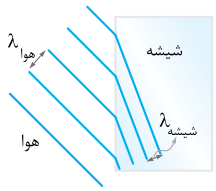
$$\lambda_۱ = \frac{v_۱}{f} \Rightarrow ۰/۱ = \frac{v_۱}{۵} \Rightarrow v_۱ = ۰/۵\ m/s$$

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

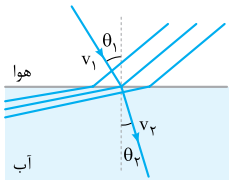
$$v_۲ = ۰/۴ v_۱ = ۰/۴ \times ۰/۵ = ۰/۲\ m/s \Rightarrow v_۲ = ۲۰\ cm/s$$

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

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



۲۳۲۸- گزینهٔ ۴ بسامد یک موج جزء ویژگی‌های ذاتی آن موج است و تنها به **چشمهٔ** آن موج بستگی دارد؛ بنابراین بسامد موج بازتابیده با بسامد موج شکست‌یافته یکسان است. از طرف دیگر ضریب شکست شیشه بیشتر از ضریب شکست هواست. بنابراین با ورود موج از هوا به شیشه، تندی موج کاهش می‌یابد. حالا از رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$، می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش تندی موج، طول موج آن هم در شیشه مطابق شکل کوتاه‌تر می‌شود و با شکسته‌شدن موج، امتداد آن هم تغییر می‌کند.



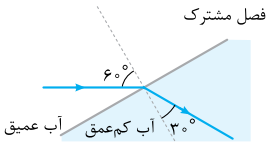
۲۳۲۹- گزینهٔ ۳ تندی انتشار نور در هوا بیشتر از تندی انتشار نور در آب است، بنابراین وقتی جبهه‌های نور وارد آب می‌شوند، حرکتشان کند شده و مطابق شکل به هم نزدیک می‌شوند. در این شکل، نمودار پرتویی معادل هم رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با ورود نور از محیط شفاف رقیق (هوا) به محیط شفاف غلیظ (آب)، پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود.

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

۲۳۳۰- گزینهٔ ۳ می‌دانیم طول موج، فاصلهٔ بین دو جبههٔ موج متوالی است، پس با توجه به شکل، طول موج در محیط I برابر $\lambda_I = 8\ cm$ و در محیط R برابر $\lambda_R = 6\ cm$ است و داریم:

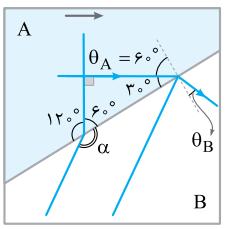
$$v = \lambda f \Rightarrow \begin{cases} v_I = 0/08\times 10 = 0/8\ m/s \\ v_R = 0/06\times 10 = 0/6\ m/s \end{cases} \Rightarrow \Delta v = v_R - v_I = 0/6 - 0/8 = -0/2\ m/s \Rightarrow \Delta v = -20\ cm/s$$

۲۳۳۱- گزینهٔ ۲ نمودار پرتویی را رسم کرده و به کمک قانون شکست عمومی چنین می‌نویسیم:



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

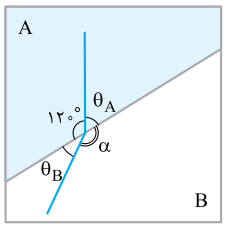
۲۳۳۲- گزینهٔ ۴ **گام اول** چون $10\sqrt{3} < 30$ است، $v_B < v_A$ می‌باشد. پس عمق آب در بخش B کم‌تر از عمق آن در بخش A است. به کمک قانون شکست عمومی می‌نویسیم:



$$\frac{\sin\theta_B}{\sin\theta_A} = \frac{v_B}{v_A} \Rightarrow \frac{\sin\theta_B}{\sin 60^\circ} = \frac{10\sqrt{3}}{30} \Rightarrow \frac{\sin\theta_B}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

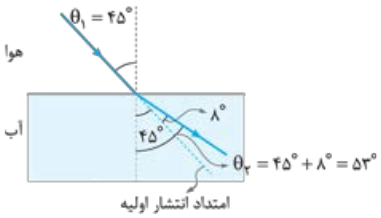
$$\Rightarrow \sin\theta_B = \frac{\sqrt{3}}{2}\times\frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{3}{2\times 3} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta_B = 30^\circ$$

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



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

۲۳۳۳- گزینهٔ ۲ زاویهٔ بین جبهه‌های موج تابیده‌شده و مرز دو محیط برابر زاویهٔ تابش پرتوی موج است. از طرفی با ورود موج صوتی به آب، تندی آن **افزایش** و در نتیجه از خط عمود **دورتر** می‌شود؛ بنابراین با توجه به شکل مقابل، قانون شکست عمومی را برای این پرتوی صوت می‌نویسیم:



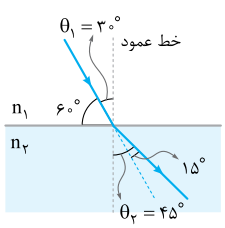
$$\frac{v_{هوا}}{v_{آب}} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \Rightarrow \frac{336}{v_{آب}} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 53^\circ} \Rightarrow \frac{336}{v_{آب}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{0/8}$$

$$\xrightarrow{\sqrt{2}\simeq 1/4} v_{آب} = \frac{336\times 0/8}{0/7} = 384\ m/s$$

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.

۲۳۳۴- گزینهٔ ۱ **گام اول** زاویهٔ تابش و شکست پرتو را به دست می‌آوریم:

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



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

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

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

۲۳۳۵- گزینهٔ ۳ **گام اول** تندی این نور در هوا برابر $c = ۳\times۱۰^{۸}\ m/s$ است، پس با استفاده از رابطهٔ طول موج داریم:

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

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

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

$$\frac{n_{\text{الماس}}}{n_{\text{شیشه}}} = \frac{۸}{۵} \text{ و } \frac{n_{\text{شیشه}}}{n_{\text{آب}}} = \frac{۹}{۸}$$

۲۳۳۶- گزینهٔ ۲ طبق صورت تست داریم:

حالا از تعریف ضریب شکست یک محیط شفاف می‌توان نوشت:

$$\frac{n_{\text{الماس}}}{n_{\text{شیشه}}}\times\frac{n_{\text{شیشه}}}{n_{\text{آب}}} = \frac{۸}{۵}\times\frac{۹}{۸} \Rightarrow \frac{n_{\text{الماس}}}{n_{\text{آب}}} = \frac{۹}{۵} \xrightarrow{n=\frac{c}{v}} \frac{v_{\text{آب}}}{v_{\text{الماس}}} = \frac{۹}{۵} \xrightarrow{x=vt} \frac{x_{\text{آب}}}{x_{\text{الماس}}} = \frac{۹}{۵} \Rightarrow \frac{۳۶}{x_{\text{الماس}}} = \frac{۹}{۵} \Rightarrow x_{\text{الماس}} = ۲۰\ cm$$

۲۳۳۷- گزینهٔ ۲ طول موج نور قرمز در خلأ و محیط مجهول را با λ_r و λ'_r و طول موج نور بنفش در خلأ و آب را با λ_v و λ'_v نشان می‌دهیم. با توجه به این‌که بسامد هر نور در همهٔ محیط‌ها ثابت و یکسان است، به کمک رابطهٔ طول موج با تندی و با ضریب شکست داریم:

$$\begin{cases}\lambda'_r = \frac{\lambda_r}{n}\\ \lambda'_v = \frac{\lambda_v}{n_{\text{آب}}}\end{cases} \xrightarrow{\lambda'_r=\lambda'_v} \frac{\lambda_r}{n} = \frac{\lambda_v}{\frac{۴}{۳}} \Rightarrow n = \frac{۴}{۳}\left(\frac{\lambda_r}{\lambda_v}\right) = \frac{۴}{۳}\times\frac{۷}{۴} = \frac{۷}{۳}$$

۲۳۳۸- گزینهٔ ۴ **گام اول** چون حداقل زمان لازم را می‌خواهیم، پرتویی از نور را در نظر می‌گیریم که در راستای قائم از لامپ به آب می‌تابد. زمان رسیدن نور به سطح آب برابر است با:

$$x = vt \xrightarrow{v=c} ۹ = ۳\times۱۰^{۸}\times t \Rightarrow t = ۳\times۱۰^{-۸}\ s$$

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

$$n_{\text{آب}} = \frac{c}{v_{\text{آب}}} \Rightarrow v_{\text{آب}} = \frac{c}{n_{\text{آب}}} = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{\frac{۴}{۳}} = \frac{۹}{۴}\times۱۰^{۸}\ m/s \qquad x' = v_{\text{آب}}t' \Rightarrow ۴/۵ = \frac{۹}{۴}\times۱۰^{۸}\times t' \Rightarrow t' = ۲\times۱۰^{-۸}\ s$$

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

$$t_{\text{رفت}} = t + t' = ۳\times۱۰^{-۸} + ۲\times۱۰^{-۸} = ۵\times۱۰^{-۸}\ s$$

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

$$t_{\text{کل}} = ۲t_{\text{رفت}} = ۲\times۵\times۱۰^{-۸}\ s = ۱۰^{-۷}\ s$$

تیزباش مسافتی که نور در مسیر رفت و برگشت می‌پیماید برابر $۲\times(۹+۴/۵) = ۳\times۹ = ۲۷\ m$ است. فرض می‌کنیم آبی وجود ندارد و کل مسیر هواست بنابراین زمان لازم برای طی این مسافت برابر است با:

$$\Delta t = \frac{x}{c} = \frac{۲۷}{۳\times۱۰^{۸}} = ۹\times۱۰^{-۸}\ s$$

حالا که بخشی از مسیر آب است، با توجه به کندتر بودن حرکت نور در آب نسبت به هوا، زمان مورد نظر باید بیشتر از $۹\times۱۰^{-۸}\ s$ باشد و فقط ۴ می‌تواند جواب تست باشد.

۲۳۳۹- گزینهٔ ۳ **گام اول** کمیت‌های مربوط به آب و هوا را به ترتیب با زیروند w و a نشان می‌دهیم. به کمک رابطهٔ ضریب شکست و تندی نور، داریم:

$$\frac{v_a}{v_w} = \frac{n_w}{n_a} \Rightarrow \frac{v_a}{v_w} = \frac{۴}{۳}$$

گام دوم در مسیر AB، نور در آب مسافت $L_w = ۱۴۴\ cm$ و در هوا مسافت $L_a = h$ را طی می‌کند. بنابراین:

$$x = vt \xrightarrow{t_a=t_w} \frac{L_a}{L_w} = \frac{v_a}{v_w} \Rightarrow \frac{h}{۱۴۴} = \frac{۴}{۳} \Rightarrow h = \frac{۴\times۱۴۴}{۳} = ۴\times۴۸ = ۱۹۲\ cm$$

۲۳۴۰- گزینهٔ ۱ **گام اول** انتشار نور در یک محیط، حرکتی یکنواخت است، پس زمان حرکت نور در محیط $n_۱$ برابر است با:

$$\Delta x = v\Delta t \Rightarrow L = v_۱\Delta t_۱ \Rightarrow \Delta t_۱ = \frac{L}{v_۱}$$

گام دوم با توجه به رابطهٔ $n = \frac{c}{v}$، تندی انتشار نور در محیط $n_۲$ از رابطهٔ $\frac{v_۲}{v_۱} = \frac{n_۱}{n_۲}$ به دست می‌آید و برای محاسبهٔ زمان حرکت نور در محیط $n_۲$ می‌توان نوشت:

$$\Delta x = v\Delta t \Rightarrow L = v_۲\Delta t_۲ \Rightarrow \Delta t_۲ = \frac{L}{v_۲} \xrightarrow{\frac{۱}{v_۲}=\frac{۱}{v_۱}\left(\frac{n_۲}{n_۱}\right)} \Delta t_۲ = \frac{L}{v_۱}\times\left(\frac{n_۲}{n_۱}\right)$$

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

$$\Delta t = \Delta t_۱ + \Delta t_۲ \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_۱} + \frac{L}{v_۱}\left(\frac{n_۲}{n_۱}\right) \Rightarrow \Delta t = \frac{L}{v_۱}\left(۱ + \frac{n_۲}{n_۱}\right)$$

تیزباش فرض می‌کنیم از نقطهٔ A تا B کل محیط $n_۱$ است، بنابراین مدت‌زمان رسیدن پرتو از A تا B برابر است با:

$$\Delta t' = \frac{۲L}{v_۱}$$

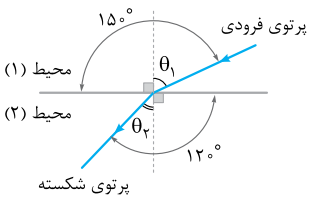
حالا که بخشی از محیط $n_۲$ است و تندی نور در محیط $n_۲$، نسبت به $n_۱$ کاهش می‌یابد، بنابراین مدت‌زمان رسیدن پرتو از A تا B نسبت به حالتی که فرض کردیم افزایش می‌یابد؛ بنابراین باید $\Delta t > \frac{۲L}{v_۱}$ باشد. مشخص است که ۳ و ۴ کم‌تر از $\frac{۲L}{v_۱}$ هستند و نمی‌توانند جواب تست باشد. از طرفی برای ۲ هم می‌توان گفت:

$$n_۱ < n_۲ \Rightarrow \frac{n_۱}{n_۲} < ۱ \xrightarrow{(+۱)} ۱ + \frac{n_۱}{n_۲} < ۲ \xrightarrow{\times\frac{L}{v_۱}} \frac{L}{v_۱}\left(۱ + \frac{n_۱}{n_۲}\right) < \frac{۲L}{v_۱}$$

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

۲۳۴۱- گزینهٔ ۱ در تمام گزینه‌ها پرتو از محیط شفاف رقیق به محیط شفاف غلیظ وارد می‌شود که می‌دانیم در این حالت پرتوی شکسته باید به خط عمود **نزدیک‌تر** شود. در ۱ پرتو به خط عمود نزدیک می‌شود که درست است. در ۲ پرتو از خط عمود عبور می‌کند که نادرست است. در ۳ پرتو از خط عمود دور می‌شود که نادرست است، در ۴ پرتو درست در راستای خط عمود خارج می‌شود که نادرست است، زیرا تنها پرتویی که عمود بر فصل مشترک بتابد، به صورت عمود خارج می‌شود.

۲۳۴۲- گزینهٔ ۲ **روش اول: گام اول** شکل روبه‌رو، کامل‌شدهٔ شکل صورت تست است. با توجه به شکل:



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

گام دوم به کمک قانون شکست عمومی، داریم:

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

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

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

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

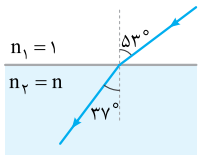
$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \Rightarrow n_1\times\sin 60^\circ=n_2\times\sin 30^\circ \Rightarrow n_1\times\frac{\sqrt{3}}{2}=2\times\frac{1}{2} \Rightarrow n_1=\frac{2}{\sqrt{3}}=\frac{2\sqrt{3}}{3}$$

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

۲۳۴۳- گزینهٔ ۴ زاویهٔ تابش در آب برابر $\theta_1=90^\circ-53^\circ=37^\circ$ است و چون پرتو از آب وارد هوا می‌شود، داریم: $n_1=\frac{4}{3}$ و $n_2=1$، حالا به کمک قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

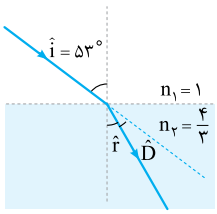
$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \Rightarrow \frac{4}{3}\times\sin 37^\circ=1\times\sin\theta_2 \Rightarrow \sin\theta_2=0/8 \Rightarrow \theta_2=53^\circ$$

۲۳۴۴- گزینهٔ ۳ راحت‌تریم تا با نمودار پرتویی کار کنیم. می‌دانیم پرتوها عمود بر جبهه‌های موج هستند و زاویهٔ بین جبههٔ موج فرودی با مرز دو محیط برابر با زاویهٔ تابش و زاویهٔ بین جبههٔ موج شکسته با مرز دو محیط برابر با زاویهٔ شکست است، پس می‌توان شکل مقابل را در نظر گرفت و به کمک قانون شکست اسنل نوشت:



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

۲۳۴۵- گزینهٔ ۲ **گام اول** با استفاده از قانون شکست اسنل، می‌توان نوشت:

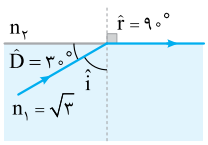


$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2 \xrightarrow[\theta_2=\hat{r}]{\theta_1=\hat{i}=53^\circ} 1\times\sin 53^\circ=\frac{4}{3}\times\sin\hat{r} \Rightarrow \sin\hat{r}=0/6 \Rightarrow \hat{r}=37^\circ$$

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

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

۲۳۴۶- گزینهٔ ۳ **گام اول** مطابق شکل زاویهٔ شکست برابر $\hat{r}=90^\circ$ است و چون زاویهٔ انحراف برابر $\hat{D}=30^\circ$ است، $\hat{D}=\hat{r}-\hat{i} \Rightarrow \hat{i}=60^\circ$. حالا از قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:



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

گام دوم تندی نور در محیط n_2 برابر است با:

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

۲۳۴۷- گزینهٔ ۴ **گام اول** پرتو از هوا به ضریب شکست $n_1=1$ وارد محیط غلیظی به ضریب شکست $n_2=1/6$ می‌شود؛ بنابراین می‌توان نوشت:

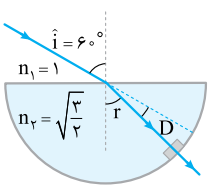
$$\hat{i}=\hat{r}+\hat{D} \xrightarrow{\hat{i}=2\hat{D}} 2\hat{D}=\hat{r}+\hat{D} \Rightarrow \hat{r}=\hat{D}$$

گام دوم به کمک قانون شکست اسنل داریم:

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

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

۲۳۴۸- گزینهٔ ۲ **گام اول** با استفاده از قانون شکست اسنل برای ورود پرتوی SI به نیم‌استوانه می‌توان نوشت:

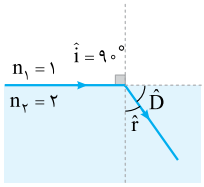


$$n_1\sin\hat{i}=n_2\sin\hat{r} \Rightarrow 1\times\sin 60^\circ=\sqrt{\frac{3}{2}}\times\sin\hat{r} \Rightarrow \sin\hat{r}=\frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \hat{r}=45^\circ$$

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

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

۲۳۴۹- گزینهٔ ۳ $v=\frac{1}{2}c$ است، پس ضریب شکست محیط شفاف برابر $n=\frac{c}{v}=2$ است. در حالت کلی با **افزایش** زاویهٔ تابش، زاویهٔ شکست و زاویهٔ انحراف هم **افزایش** پیدا می‌کنند، بنابراین بیشترین زاویهٔ انحراف مربوط به حالتی است که مطابق شکل زاویهٔ تابش برابر 90° شود. با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

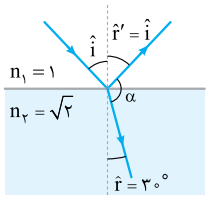


$$n_1\sin\hat{i}=n_2\sin\hat{r}\Rightarrow 1\times\sin 90^\circ=2\sin\hat{r}\Rightarrow\sin\hat{r}=\frac{1}{2}\Rightarrow\hat{r}=30^\circ$$

بنابراین بیشترین زاویهٔ انحراف برابر است با:

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

۲۳۵۰- گزینهٔ ۳



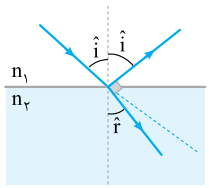
گام اول مطابق شکل و با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

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

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

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

۲۳۵۱- گزینهٔ ۴



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

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

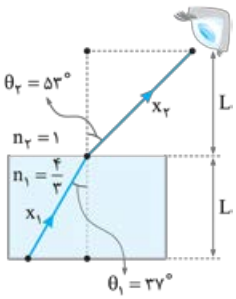
$$\Rightarrow\sin\hat{r}=\sin(90^\circ-\hat{i})\xrightarrow{\sin(90^\circ-\theta)=\cos\theta}\sin\hat{r}=\cos\hat{i}$$

گام دوم با استفاده از قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

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

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

۲۳۵۲- گزینهٔ ۴



گام اول ابتدا به کمک قانون شکست اسنل، زاویهٔ شکست در هوا را حساب می‌کنیم:

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

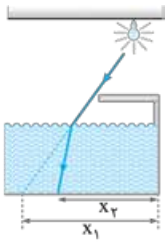
گام دوم با توجه به شکل، مسافتی که نور در آب (x_1) و هوا (x_2) طی می‌کند برابر است با:

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

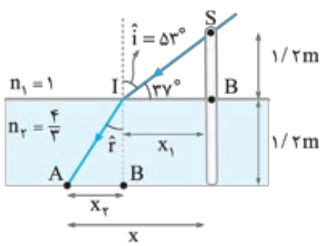
حالا با توجه به یکنواخت‌بودن حرکت نور در دو محیط داریم:

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

۲۳۵۳- گزینهٔ ۱ مطابق شکل وقتی استخر خالی است، طول سایهٔ تختهٔ شیرجه برابر x_1 است. با پرشدن استخر، نور از محیط رقیق (هوا) وارد محیط غلیظ (آب) می‌شود؛ بنابراین مطابق شکل به خط عمود نزدیک شده و طول سایهٔ تخته برابر x_2 می‌شود. با توجه به شکل $x_2<x_1$ است و طول سایهٔ تخته در هنگام پربودن استخر، **کوتاه‌تر** از طول سایهٔ آن، هنگام خالی‌بودن استخر است.



۲۳۵۴- گزینهٔ ۳ **گام اول** مطابق شکل پرتوهای نور خورشید در ضمن ورود به آب شکسته می‌شوند.



برای ورود نور به آب داریم:

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

گام دوم در مثلث ISB داریم:

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

همچنین در مثلث IAB داریم:

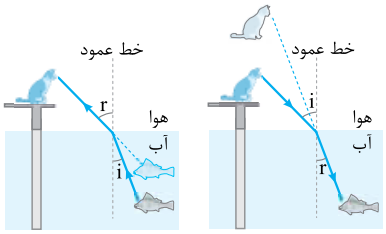
$$\tan\hat{r}=\tan 37^\circ=\frac{x_2}{1/2}\Rightarrow\frac{3}{4}=\frac{x_2}{1/2}\Rightarrow x_2=0/9\ m$$

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

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

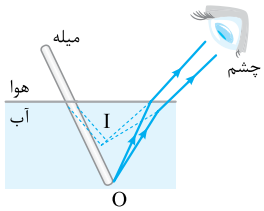
تمرین اگر تیر به طور کامل در آب قرار داشت، طول سایه‌اش در کف استخر چند متر بود؟ $x=1/8\ m$

۲۳۵۵- گزینهٔ ۳ وقتی نور از آب وارد هوا می‌شود، از محیط غلیظ به محیط رقیق وارد می‌شود و بنابر قانون شکست اسنل، از خط عمود دور می‌شود، بنابراین مطابق شکل (الف) گربه، ماهی را **نزدیک‌تر** از مکان واقعی می‌بینند. 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 می‌بینند.

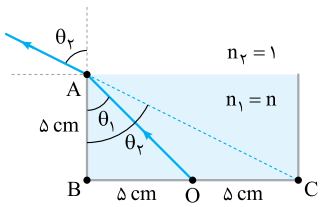


(الف) (ب)

۲۳۵۶- گزینهٔ ۳ پرتوهایی که از انتهای میله (نقطهٔ O) به سطح آب می‌تابند، هنگام خروج شکسته شده و به نظر می‌رسد از نقطهٔ I (تصویر مجازی نقطهٔ O) آمده‌اند. بنابراین مطابق شکل میله شکسته به نظر می‌رسد، یعنی کوتاه‌تر و نزدیک به سطح آب مشاهده می‌شود.



۲۳۵۷- گزینهٔ ۱ **گام اول** در شکل مقابل، وضعیت پرتوها پس از پرشدن ظرف از مایع رسم شده است. سینوس زاویه‌های θ_1 و θ_2 را محاسبه می‌کنیم:



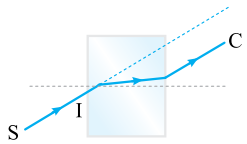
$$\sin\theta = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} \Rightarrow \sin\theta_1 = \frac{BO}{AO} = \frac{5}{\sqrt{5^2+5^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

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

گام دوم با استفاده از قانون شکست اسنل داریم:

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

۲۳۵۸- گزینهٔ ۳ وقتی پرتوی SI از هوا به شیشه می‌تابد، چون از محیط رقیق به محیط غلیظ وارد می‌شود، به خط عمود نزدیک می‌شود (پرتوهای C و D). در ضمن فقط در صورتی که پرتو عمود بر سطح مشترک بتابد، مسیر D را دنبال خواهد کرد.



۲۳۵۹- گزینهٔ ۳ **گام اول** قانون شکست اسنل را برای دو حالت می‌نویسیم:

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

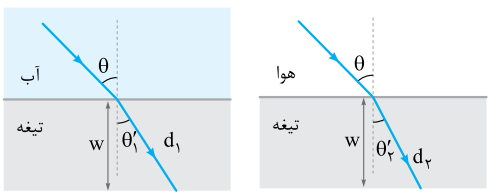
$$\text{(۲) حالت: } n_{\text{هوا}}\sin\theta = n_{\text{تیغه}}\sin\theta_2' \Rightarrow \sin\theta_2' = \frac{n_{\text{هوا}}}{n_{\text{تیغه}}}\sin\theta \quad (II)$$

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

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

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

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



(۱) (۲)

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

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

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

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

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

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

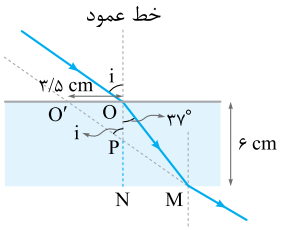
در این تست چون $n_{\text{آب}} > n_{\text{هوا}}$ است، اختلاف ضریب شکست دو محیط در حالت (۲) بیشتر و در نتیجه میزان انحراف پرتو در حالت (۲) بیشتر است.

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

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

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

۲۳۶۰- گزینهٔ ۲ **روش اول:** **گام اول** باید با استفاده از روابط هندسی زاویهٔ $\hat{i}$ را به دست آوریم. به کمک شکل روبه‌رو و با استفاده از روابط مثلثاتی داریم:



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

گام دوم مثلث‌های OPO' و NPM متشابه‌اند؛ بنابراین:

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

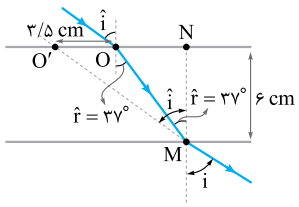
زاویهٔ رأس P در مثلث OPO' با توجه به قضیهٔ خطوط موازی و مورب برابر $\hat{i}$ است و داریم:

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

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

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

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



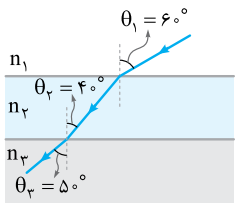
$$\overset{\Delta}{OMN}: \tan\hat{r} = \frac{\overline{ON}}{\overline{MN}} \Rightarrow \tan 37^\circ = \frac{\overline{ON}}{6} \xrightarrow{\tan 37^\circ = \frac{3}{4}} \overline{ON} = 4/5\,\text{cm}$$

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

گام دوم به کمک قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

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

۲۳۶۱- گزینهٔ ۱ قانون شکست اسنل برای ورود نور از محیط n_1 به n_2 به صورت $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$ است.



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

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

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

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

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

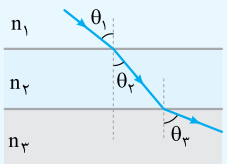
تمرین **تندی نور در این سه محیط شفاف را با هم مقایسه کنید.** $v_1 > v_3 > v_2$

۲۳۶۲- گزینهٔ ۳ با توجه به شکل تست $\theta_1 = 45^\circ$، $\theta_2 = 20^\circ$ و $\theta_3 = 60^\circ$، از قانون شکست اسنل برای سه محیط داریم:

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

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

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



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

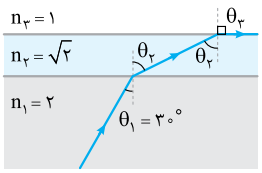
تیزباش زاویهٔ شکست در محیط n_3 $(\theta_3 = 60^\circ)$ بزرگ‌تر از زاویهٔ تابش در محیط n_1 $(\theta_1 = 45^\circ)$ است. طبق قانون شکست عمومی داریم:

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

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

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

۲۳۶۳- گزینهٔ ۲ با توجه به قانون شکست اسنل می‌توان نوشت:

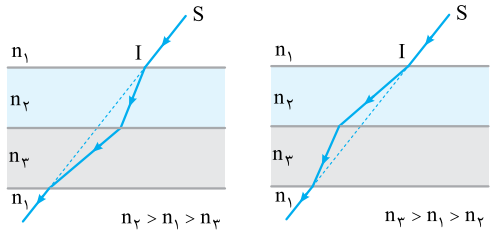


$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3 \Rightarrow 2\times\sin 30^\circ = \sqrt{2}\times\sin\theta_2 = 1\times\sin\theta_3$$

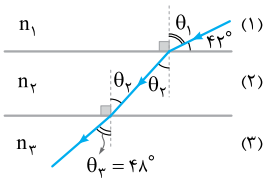
$$\Rightarrow \sin\theta_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta_2 = 45^\circ \text{ و } \sin\theta_3 = 1 \Rightarrow \theta_3 = 90^\circ$$

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

۲۳۶۴- گزینهٔ ۳ اگر $n_۲$ و $n_۳$ هر دو **بزرگ‌تر** از $n_۱$ باشند، پرتو در این دو محیط به خط عمود نزدیک شده و پرتوی خروجی با این‌که با پرتوی ورودی موازی است، اما امتدادش عوض شده و به طرف **راست** جابه‌جا می‌شود. به طریق مشابه اگر $n_۲$ و $n_۳$ هر دو **کوچک‌تر** از $n_۱$ باشند، امتداد پرتوی خروجی به طرف **چپ** جابه‌جا می‌شود. اما اگر ضریب شکست یکی از محیط‌ها بزرگ‌تر از $n_۱$ و دیگری کوچک‌تر از $n_۱$ باشد، این امکان وجود دارد که راستای پرتو تغییر نکند. بدیهی است که اگر ضریب شکست سه محیط یکسان باشد، شکستی اتفاق نمی‌افتد و راستای پرتو هم تغییری نمی‌کند اما باید توجه داشت که الزامی برای این موضوع وجود ندارد.



۲۳۶۵- گزینهٔ ۲ **گام اول** از روی شکل زاویهٔ تابش اولیه را حساب می‌کنیم:



$$\theta_۱ + ۴۲^\circ = ۹۰^\circ \Rightarrow \theta_۱ = ۹۰^\circ - ۴۲^\circ = ۴۸^\circ$$

بنابراین زاویه‌های تابش اولیه و شکست نهایی با هم برابرند: $\theta_۳ = \theta_۱ = ۴۸^\circ$

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

$$\begin{cases} \dfrac{\sin\theta_۳}{\sin\theta_۱} = \dfrac{v_۳}{v_۱} \xrightarrow{\theta_۳=\theta_۱} \dfrac{\sin\theta_۱}{\sin\theta_۱} = \dfrac{v_۳}{v_۱} \Rightarrow v_۳ = v_۱ = ۲/۵\times۱۰^۸ \text{ m/s} = ۲/۵\times۱۰^۵ \text{ km/s} \\ \dfrac{v_۳}{v_۱} = \dfrac{n_۱}{n_۳} \xrightarrow{v_۳=v_۱} ۱ = \dfrac{n_۱}{n_۳} \Rightarrow n_۳ = n_۱ \end{cases}$$

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

$$n_۲ = n_۳ + ۰/۲۵n_۳ = ۱/۲۵n_۳ = \frac{۵}{۴}n_۳ \Rightarrow \frac{n_۳}{n_۲} = \frac{۴}{۵}$$

$$\frac{v_۲}{v_۳} = \frac{n_۳}{n_۲} \Rightarrow \frac{v_۲}{v_۳} = \frac{۴}{۵} \xrightarrow{v_۳=۲/۵\times۱۰^۵ \text{ km/s}} \frac{v_۲}{۲/۵\times۱۰^۵} = \frac{۴}{۵} \Rightarrow v_۲ = \frac{۴\times۲/۵\times۱۰^۵}{۵} = \frac{۱۰}{۵}\times۱۰^۵ = ۲\times۱۰^۵ \text{ km/s}$$

گام چهارم اختلاف تندی نور در محیط‌های (۱) و (۲) را به دست می‌آوریم: $\Delta v = v_۲ - v_۱ = ۲\times۱۰^۵ - ۲/۵\times۱۰^۵ = -۰/۵\times۱۰^۵ = -۵\times۱۰^۴ \text{ km/s}$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ **کم‌تر** بودن $v_۲$ از $v_۱$ است.

۲۳۶۶- گزینهٔ ۴ **گام اول** تندی نور در محیط (۲)، ۲۵ درصد کم‌تر از تندی نور در محیط (۱) است؛ بنابراین:

$$v_۲ = v_۱ - \frac{۲۵}{۱۰۰}v_۱ = \frac{۳}{۴}v_۱$$

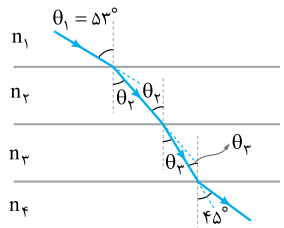
قانون شکست عمومی را برای محیط‌های (۱) و (۲) می‌نویسیم:

$$\frac{v_۱}{v_۲} = \frac{\sin\theta_۱}{\sin\theta_۲} \Rightarrow \frac{v_۱}{\frac{۳}{۴}v_۱} = \frac{\sin ۵۳^\circ}{\sin\theta_۲} \Rightarrow \sin\theta_۲ = \frac{۳}{۴}\times۰/۸ = ۰/۶ \Rightarrow \theta_۲ = ۳۷^\circ$$

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

$$v_۴ = v_۳ + \frac{۴۰}{۱۰۰}v_۳ = ۱/۴v_۳$$

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

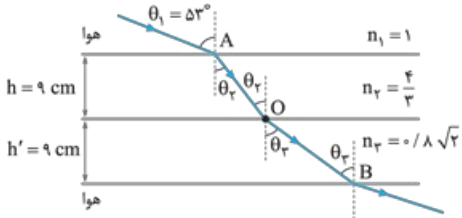


$$\frac{v_۳}{v_۴} = \frac{\sin\theta_۳}{\sin\theta_۴} \Rightarrow \frac{v_۳}{۱/۴v_۳} = \frac{\sin\theta_۳}{\sin ۴۵^\circ} \Rightarrow \sin\theta_۳ = \frac{۰/۷}{۱/۴} = \frac{۱}{۲} \Rightarrow \theta_۳ = ۳۰^\circ$$

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

$$\frac{n_۲}{n_۳} = \frac{\sin\theta_۳}{\sin\theta_۲} \Rightarrow \frac{n_۲}{n_۳} = \frac{\sin ۳۰^\circ}{\sin ۳۷^\circ} = \frac{\frac{۱}{۲}}{۰/۶} = \frac{۵}{۶}$$

۲۳۶۷- گزینهٔ ۲ **گام اول** با استفاده از قانون شکست اسنل، زوایای شکست در محیط‌های (۲) و (۳) را به دست می‌آوریم:



$$\begin{cases} \text{محیط‌های (۱) و (۲)}: n_۱\sin\theta_۱ = n_۲\sin\theta_۲ \Rightarrow ۱\times\sin ۵۳^\circ = \frac{۴}{۳}\times\sin\theta_۲ \Rightarrow ۱\times۰/۸ = \frac{۴}{۳}\times\sin\theta_۲ \Rightarrow \sin\theta_۲ = ۰/۶ \Rightarrow \theta_۲ = ۳۷^\circ \\ \text{محیط‌های (۲) و (۳)}: n_۲\sin\theta_۲ = n_۳\sin\theta_۳ \Rightarrow \frac{۴}{۳}\sin ۳۷^\circ = ۰/۸\sqrt{۲}\sin\theta_۳ \Rightarrow \sin\theta_۳ = \frac{\frac{۴}{۳}\times۰/۶}{۰/۸\sqrt{۲}} = \frac{\sqrt{۲}}{۲} \Rightarrow \theta_۳ = ۴۵^\circ \end{cases}$$

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

$$\begin{cases} \cos\theta_۲ = \dfrac{h}{\overline{AO}} \Rightarrow \cos ۳۷^\circ = \dfrac{۰/۰۹}{\overline{AO}} \Rightarrow \overline{AO} = \dfrac{۰/۰۹}{۰/۸} = \dfrac{۹}{۸۰} \text{ m} \\ \cos\theta_۳ = \dfrac{h'}{\overline{OB}} \Rightarrow \cos ۴۵^\circ = \dfrac{۰/۰۹}{\overline{OB}} \Rightarrow \overline{OB} = \dfrac{۰/۰۹}{\frac{\sqrt{۲}}{۲}} = \dfrac{۹\sqrt{۲}}{۱۰۰} \text{ m} \end{cases}$$

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

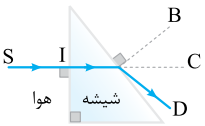
$$\begin{cases} v_۲ = \frac{c}{n_۲} = \frac{۳\times۱۰^۸}{\frac{۴}{۳}} = \frac{۹}{۴}\times۱۰^۸ \ m/s \\ v_۳ = \frac{c}{n_۳} = \frac{۳\times۱۰^۸}{۰/۸\sqrt{۲}} = \frac{۳۰}{۸\sqrt{۲}}\times۱۰^۸ \ m/s \end{cases}$$

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

$$t_{کل} = t_{AO} + t_{OB} = \frac{\overline{AO}}{v_۲} + \frac{\overline{OB}}{v_۳} = \frac{\frac{۹}{۸۰}}{\frac{۹}{۴}\times۱۰^۸} + \frac{\frac{۹\sqrt{۲}}{۱۰۰}}{\frac{۳۰}{۸\sqrt{۲}}\times۱۰^۸} = ۰/۵\times۱۰^{-۹} + ۰/۴۸\times۱۰^{-۹} = ۰/۹۸\times۱۰^{-۹} \ s \Rightarrow t_{کل} = ۰/۹۸ \ ns$$

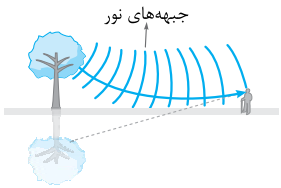
متأسفانه پس از این حل طولانی و زمان‌بر، گزینهٔ درست در بین گزینه‌ها نبود!!!

۲۳۶۸- گزینهٔ ۴ پرتوی SI به طور عمود بر یکی از وجه‌های منشور تابیده است، بنابراین بدون انحراف وارد منشور می‌شود. در هنگام خروج پرتو از منشور، چون پرتو از محیط غلیظ وارد محیط رقیق می‌شود، باید از خط عمود دور شود که مانند شکل، پرتوی D این ویژگی را دارد.

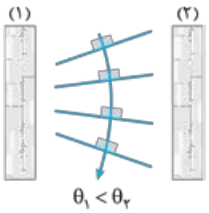


۲۳۶۹- گزینهٔ ۴ پرتو پس از ورود از هوا (محیط رقیق) به منشور شیشه‌ای (محیط غلیظ) به خط عمود نزدیک‌تر شده و به طرف پایین منحرف می‌شود (پرتوهای C و D). پس از عبور از منشور، پرتو عمود بر سطح کره می‌تابد، پس بدون شکست از آن عبور می‌کند (پرتوی D).

۲۳۷۰- گزینهٔ ۴ در روزهای گرم، هر چه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، دمای لایه‌های هوا **بیشتر** شده و چگالی هوا **کاهش** می‌یابد، در نتیجه ضریب شکست لایه‌های هوا **کاهش** می‌یابد. (درستی ۲) در نتیجه برای جبهه‌های موج که به طرف پایین می‌آیند، تندی در نزدیکی سطح زمین **بیشتر** است (درستی ۳)؛ بنابراین این پرتوها هر چه بیشتر به سطح زمین نسبتاً داغ نزدیک شده و بیشتر به سمت افق خم می‌شوند (درستی ۱) و مطابق شکل به چشم ما می‌رسند و طرحی مانند سطح آب (سراب آبگیر) تشکیل می‌شود. سراب یک خطای ذهن و یا یک تصویر مجازی **نیست**، بلکه یک تصویر حقیقی است که با نور واقعی به وجود می‌آید و می‌توان از آن عکس گرفت. (نادرستی ۴)



۲۳۷۱- گزینهٔ ۴ داستان این تست شبیه به پدیدهٔ سراب است. لایه‌های هوای سالن که به دیوارهٔ گرم‌تر (۲) نزدیک‌ترند، دمای **بالاتر** و در نتیجه چگالی **کم‌تری** دارند. این **کاهش** چگالی باعث کاهش ضریب شکست هوای کنار دیوارهٔ (۲) نسبت به ضریب شکست هوای کنار دیوارهٔ (۱) می‌شود و طبق رابطهٔ وارون ضریب شکست و تندی نور $(v \propto \frac{۱}{n})$، جبهه‌های موج در کنار دیوارهٔ (۲) **تندتر** از جبهه‌های موج در کنار دیوارهٔ (۱) حرکت می‌کنند و فاصلهٔ بین جبهه‌های موج در کنار دیوارهٔ (۲) مطابق شکل **بیشتر** از فاصلهٔ بین جبهه‌ها موج در کنار دیوارهٔ (۱) می‌شود. با توجه به لزوم عمودبودن پرتو بر جبهه‌های موج، شکل جبهه‌های موج و یک پرتوی آن در مجاورت دیوارها به صورت شکل مقابل خواهد بود.



۲۳۷۲- گزینهٔ ۳ گفتیم که **عموماً** ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های **کوتاه‌تر**، **بیشتر** است؛ بنابراین با توجه به بلندتربودن طول موج نور قرمز از نور بنفش، ضریب شکست شیشه برای نور قرمز **کم‌تر** از نور بنفش است، یعنی $n_r < n_v$.

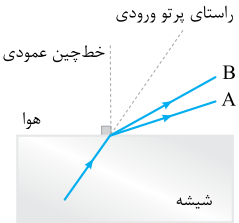
حالا از تعریف ضریب شکست داریم:

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

! ضریب شکست خلأ برای همهٔ طول موج‌ها برابر یک است.

۲۳۷۳- گزینهٔ ۴ با توجه به نمودار $\lambda_A < \lambda_B$ است؛ در نتیجه $n_A > n_B$ است. پس اگر پرتوی فرودی شامل نورهای A و B از شیشه وارد هوا شود، زاویهٔ شکست پرتویی بزرگ‌تر است که ضریب شکست شیشه برای آن، بزرگ‌تر باشد.

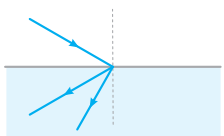
$$n\sin i = n_{هوا}\sin r \Rightarrow \sin r = (\frac{n}{n_{هوا}})\sin i \xrightarrow{n_A>n_B} \hat{r}_A > \hat{r}_B$$



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

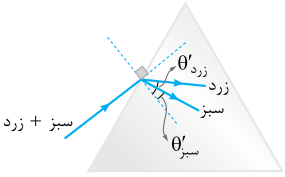
۲۳۷۴- گزینهٔ ۱ پرتوی SI از محیط با ضریب شکست کم‌تر (هوا) وارد محیط با ضریب شکست بیشتر (مایع) شده است؛ بنابراین پرتوها به خط عمود **نزدیک** می‌شوند (رد ۳ و ۴). همچنین با توجه به **کوتاه‌تر** بودن طول موج نور سبز نسبت به نور قرمز، ضریب شکست محیط برای نور سبز **بیشتر** از نور قرمز است، بنابراین پرتوی سبز **بیشتر** منحرف شده و به خط عمود بیشتر نزدیک می‌شود. (رد ۲).

! همهٔ پرتوهای تشکیل‌دهندهٔ یک نور مرکب باید در یک طرف امتداد انتشار پرتوی فرودی باشند. برای مثال چون هر یک از پرتوهای قرمز و سبز در یک طرف امتداد انتشار پرتوی فرودی قرار دارند، شکل ۴ از لحاظ فیزیکی ممکن نیست. همچنین پرتوهای فرودی و شکسته، خط‌چین عمود بر مرز مشترک را قطع می‌کنند و نمی‌توانند مانند شکل مقابل همگی در یک طرف خط‌چین باشند.



۲۳۷۵- گزینهٔ ۱ ضریب شکست تیغه برای نور آبی بیشتر از نور قرمز است؛ پس پرتوی آبی در تیغه **بیشتر** از پرتوی قرمز منحرف می‌شود و در نتیجه در داخل تیغه، دو پرتو در حال نزدیک‌شدن به یکدیگر هستند و **همگرا** می‌باشند. از طرف دیگر پس از شکست مجدد دو پرتو و ورود آن‌ها به هوا، هر دو پرتو به موازات امتداد اولیهٔ خود خارج می‌شوند که در این حالت دو پرتوی آبی و قرمز با هم موازی می‌باشند.

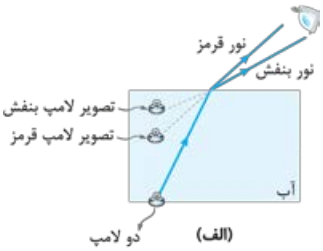
۲۳۷۶- گزینهٔ ۲ طول موج نور سبز **کوتاه‌تر** از نور زرد است؛ بنابراین ضریب شکست منشور برای نور سبز **بیشتر** است. مطابق شکل زیر در داخل منشور میزان انحراف پرتوی **سبز بیشتر** از پرتوی زرد است و برای زاویهٔ شکست دو پرتو می‌توان نوشت:



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

۲۳۷۷- گزینهٔ ۳ **گام اول** گفتیم که هر چه طول موج نور تک‌رنگ **کوتاه‌تر** باشد، ضریب شکست محیط شفاف برای این نور **بیشتر** است و آن نور در اثر شکست **بیشتر** منحرف می‌شود. حالا به شکل (الف) نگاه کنید.

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



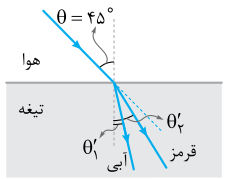
(الف)

(ب)

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

۲۳۷۸- گزینهٔ ۴ **گام اول** ضریب شکست تیغه برای پرتوی قرمز (که طول موج آن نسبت به آبی بلندتر است) کم‌تر است؛ بنابراین پرتوی قرمز پس از ورود به تیغه **کم‌تر** از پرتوی آبی منحرف می‌شود و **پرتوی (۲)** نشان‌دهندهٔ پرتوی قرمز است.

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

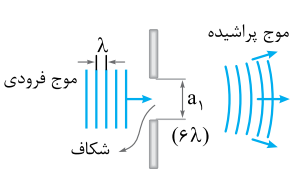


$$\begin{cases} \text{پرتوی آبی: } n_1 \sin\theta = n'_1 \sin\theta'_1 \xrightarrow[n'_1=\sqrt{2}]{n_1=1,\theta=45^\circ} 1\times\sin 45^\circ = \sqrt{2}\times\sin\theta'_1 \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2}\times\sin\theta'_1 \\ \Rightarrow \sin\theta'_1 = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta'_1 = 30^\circ \\ \text{پرتوی قرمز: } n_1 \sin\theta = n'_2 \sin\theta'_2 \xrightarrow[n'_2=\frac{5\sqrt{2}}{6}]{n_1=1,\theta=45^\circ} 1\times\sin 45^\circ = \frac{5\sqrt{2}}{6}\times\sin\theta'_2 \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{5\sqrt{2}}{6}\sin\theta'_2 \\ \Rightarrow \sin\theta'_2 = 0/6 \Rightarrow \theta'_2 = 37^\circ \end{cases}$$

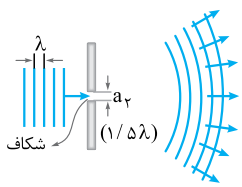
زاویهٔ بین دو پرتو برابر است با:

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

۲۳۷۹- گزینهٔ ۴ مطابق شکل (الف) وقتی پهنای شکاف خیلی **بزرگ‌تر** از طول موج است، قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد، تقریباً تخت باقی می‌ماند، اما وقتی مطابق شکل (ب) پهنای شکاف **نزدیک** به طول موج شود، قسمتی از موج که از شکاف می‌گذرد، از حالت موج تخت خارج شده و به اطراف گسترده می‌شود. به این پدیده که موج در عبور از یک شکاف از مرتبهٔ طول موج خم شده و به اطراف گسترده می‌شود، **پراش** می‌گویند. پراش حاصل تداخل امواج است.



(الف)



(ب)

۲۳۸۰- گزینهٔ ۲ می‌دانیم در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در **حدود طول موج** باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می‌کند، به وضوح خم شده و به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود که به این پدیده پراش می‌گویند؛ بنابراین تا همین‌جا (۲) نادرست است. از طرف دیگر پراش برای همهٔ انواع موج‌ها از جمله امواج نوری و امواج صوتی رخ می‌دهد (درستی (۳)). طول موج امواج رادیویی AM **بیشتر** از امواج FM است؛ بنابراین برای شکافی با ابعاد معین پراش امواج AM **بارزتر** از پراش امواج FM است (درستی (۱)). در پدیدهٔ پراش بسامد نور تغییر نمی‌کند؛ بنابراین با توجه به ثابت‌ماندن تندی نور در یک محیط و براساس $\lambda = \frac{v}{f}$، طول موج نور پس از پراشیده‌شدن **تغییری نمی‌کند**. (درستی (۴))

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

۲۳۸۱- گزینهٔ ۳ وقتی گیرنده به دلیل وجود یک تپه یا ساختمان در معرض ارسال مستقیم امواج یک آنتن نباشد، همچنان سیگنال را به دلیل پراش امواج از لبه‌های مانع دریافت خواهد کرد، به شرط این‌که سیگنال در اطراف آن مانع به اندازهٔ کافی به داخل ناحیهٔ سایهٔ مانع پراشیده شود. مقدار پراش به نسبت طول موج نور به اندازهٔ مانعی بستگی دارد که سایه می‌افکند. طول موج‌های بلندتر پراش بیشتری به وجود می‌آورند. بسامد سیگنال‌های تلویزیونی جدید بسیار بیشتر از سیگنال‌های تلویزیونی قدیمی است؛ بنابراین به دلیل **کاهش** طول موج سیگنال‌ها، پراش سیگنال‌ها به ناحیهٔ سایه **کاهش** یافته و امکان دریافت سیگنال‌ها توسط گیرنده‌ای که در ناحیهٔ سایهٔ مانع قرار دارند نیز **کاهش** می‌یابد.

۲۳۸۲- گزینهٔ ۲ برای پراشیده‌شدن یک موج از یک مانع، لازم است ابعاد مانع (a) در حدود ابعاد طول موج (λ) باشد؛ بنابراین کافی است طول موج امواج را حساب کنیم:

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

برای همهٔ ابعاد داده‌شده در گزینه‌ها پراش رخ می‌دهد. برای موانعی که ابعاد آن در حدود ۱/۵ m و ۱۵m است پدیدهٔ پراش بارز نیست و زمانی که ابعاد مانع در حدود ۱۵ cm و کوچک‌تر شود پدیدهٔ پراش بارز خواهد بود.

۲۳۸۳- گزینهٔ ۳ هر چه طول موج نور بیشتر و پهنای شکاف کم‌تر باشد ($\frac{\lambda}{a}$ بزرگ‌تر باشد)، نقش پراش بارزتر خواهد شد. بنابراین باید λ ی بزرگ‌تر $(600\,nm = \text{نارنجی})$ و پهنای شکاف کوچک‌تر $(a = 0/9\mu m)$ را انتخاب کنیم.

۲۳۸۴- گزینهٔ ۳ **گام اول** با توجه به تغییرنکردن سایر عوامل، انجام آزمایش در آب باعث تغییر طول موج نور و صوت می‌شود. تندی و طول موج نور در آب **کم‌تر** از هواست؛ بنابراین با انجام آزمایش (الف) در آب، طول موج نور **کاهش** و وضوح پدیدهٔ پراش **کم‌تر** می‌شود.

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

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

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