قتی موج به انتهای محیط انتشارش می‌رسد، ممکن است قسمتی از آن بازتاب و قسمتی وارد محیط جدید شود و بخشی هم به صورت گرما به هدر رود، ولی ما در این‌جا فقط حالتی را بررسی می‌کنیم که همهٔ انرژی موج بازتاب می‌شود.

بازتاب یک‌بعدی از انتهای ثابت طناب

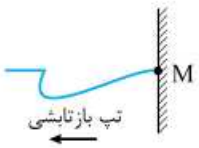
هنگامی که تپ به نقطهٔ M می‌رسد، انتهای طناب به ذرهٔ M نیرویی رو به بالا وارد می‌کند تا آن را وادار به نوسان کند، اما ذرهٔ M از جایش تکان نمی‌خورد و طبق قانون سوم نیوتون، نیرویی هم‌اندازه و **در خلاف جهت** (رو به پایین) به انتهای طناب وارد می‌کند. پس ذرهٔ M مثل یک چشمهٔ موج عمل کرده و مانند شکل (ب) یک تپ در خلاف جهت تپ تابیده (فرودی) ایجاد و در طول طناب منتشر می‌کند.

ویژگی بازتاب موج در انتهای بسته این است که «**قله را به دره**» و «**دره را به قله**» تبدیل می‌کند و برمی‌گرداند. شما می‌توانید شکل تپ بازتابشی را در دو حرکت رسم کنید:

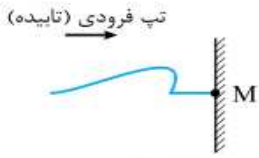
۱) قرینهٔ تپ تابیده (فرودی) را نسبت به محور افقی (راستای طناب) رسم کنید.

۲) شکل به دست آمده را نسبت به محور قائم (عمود بر راستای طناب) قرینه کنید.

(در واقع شکل تپ بازتابشی قرینهٔ مرکزی تپ تابیده است.)

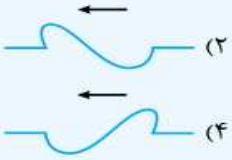


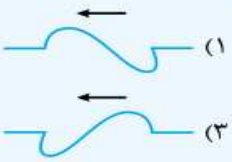
شکل (ب)



شکل (الف)

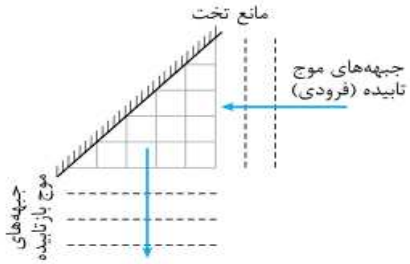
تست تپی مطابق شکل روبه‌رو، به انتهای ثابت طناب برخورد می‌کند و بازتاب می‌شود. نقش تپ بازتابشی کدام است؟





بازتاب در دو بُعد

در شکل روبه‌رو، جبهه‌های موج تخت را (مثلاً بر سطح آب) می‌بینید که به طرف یک مانع تخت تابیده شده‌اند، این موج‌ها بعد از برخورد به مانع تخت بازتاب شده‌اند. در شکل روبه‌رو جبهه‌های موج بازتابیده را رنگی نشان داده‌ایم.



طول مانع باید بسیار بزرگ‌تر از طول موج باشد تا رفتار موج در برخورد با مانع تغییر نکند.

نمودار پرتویی بازتاب موج

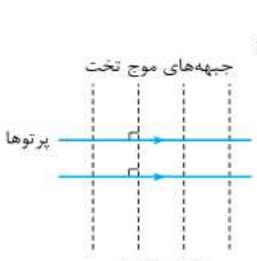
برای نشان‌دادن انتشار موج می‌توانیم از **مدل نمودار پرتویی** استفاده کنیم.

در این مدل به جای رسم جبهه‌های موج، **پرتو** رسم می‌کنیم، اول باید بدانیم پرتو یعنی چه؟

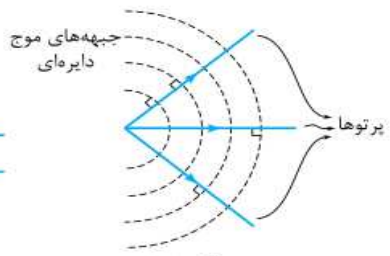
تعریف پرتو: پرتو یک خط پیکان‌دار مستقیم است که بر جبهه‌های موج عمود است. جهت پیکان پرتو، جهت انتشار موج را نشان می‌دهد. در شکل‌های روبه‌رو، خط‌چین‌ها جبهه‌های موج و خط‌های پیکان‌دار رنگی، پرتو هستند.

از هر نقطهٔ دلخواه در محیط انتشار یا بازتاب موج می‌توانید یک پرتو رسم کنید. بنابراین فاصلهٔ بین دو پرتو نشان‌دهنده چیز خاصی نیست. (برعکس جبهه‌های موج که فاصلهٔ بین دو قله متوالی یا دو درهٔ متوالی برابر طول موج است.)

خواستون باشه! اصطلاحات‌های پرتوی فرودی، پرتوی تابیده، پرتوی تابش همه به یک مفهوم به کار می‌روند.



شکل (الف)
جبهه‌های موج تخت و پرتوهای آن



شکل (ب)
جبهه‌های موج دایره‌ای شکل و پرتوهای آن

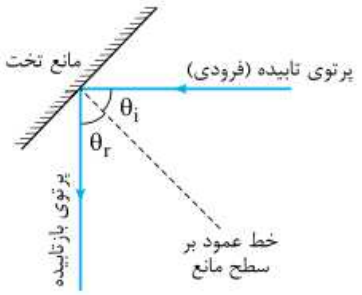
زاویهٔ تابش (θ_i) و زاویهٔ بازتابش (θ_r)

به شکل مقابل نگاه کنید. زاویهٔ بین پرتوی تابیده (فرودی) و خط عمود بر سطح مانع را با θ_i نشان داده‌ایم. اسم این زاویه، **زاویهٔ تابش**[1] است.

به زاویهٔ بین پرتوی بازتابیده و خط عمود بر سطح مانع، زاویهٔ بازتابش می‌گوییم و آن را با θ_r نشان می‌دهیم.[2]

قانون بازتاب عمومی: اول این‌که همواره و **در هر وضعیتی**، زاویهٔ تابش (θ_i) **برابر** زاویهٔ بازتابش (θ_r) است: $\theta_i = \theta_r$

دوم این‌که پرتوی تابیده، پرتوی بازتابیده و خط عمود بر سطح بازتابنده در هر بازتابش در یک صفحه قرار دارند.

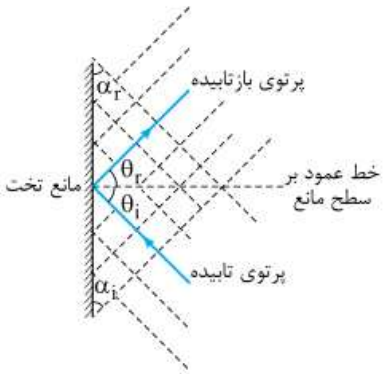


چندنکته

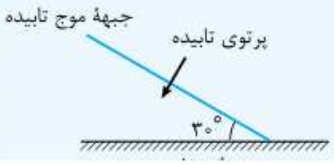
۱) قانون بازتاب عمومی برای هر وضعیت مانع (تخت، کاو و یا کوژ و ...) و همهٔ انواع موج، (مانند موج‌های دایره‌ای و کروی) درست است.

۲) در شکل مقابل به راحتی می‌توانیم اثبات کنیم که زاویه‌ای که جبهه‌های موج تخت با سطح مانع تخت می‌سازند، برابر زاویه‌های تابش و بازتابش‌اند. یعنی:

$$\alpha_i = \theta_i \quad , \quad \alpha_r = \theta_r \xrightarrow{\text{طبق قانون بازتاب } \theta_i = \theta_r \text{ است.}} \alpha_i = \alpha_r = \theta_i = \theta_r$$



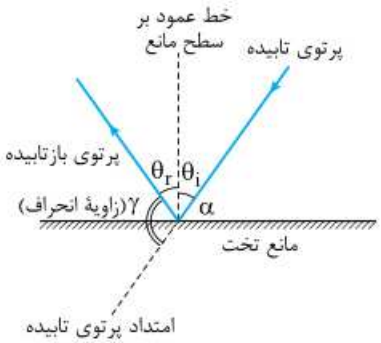
تست در شکل مقابل یکی از جبهه‌های موج تابیده به یک مانع تخت را رسم کرده‌ایم. زاویه‌ای که پرتوی تابیده و پرتوی بازتابیده می‌سازند، چند درجه است؟



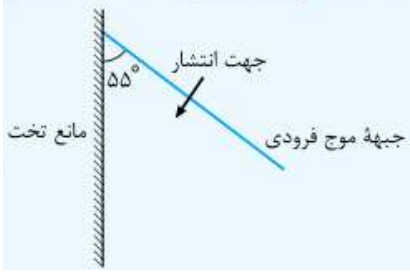
۱) ۳۰ ۲) ۴۵ ۳) ۶۰ ۴) ۹۰

۳) اگر بپرسند که پرتوی تابیده به مانع پس از بازتابش چه‌قدر منحرف می‌شود، منظورشان زاویهٔ γ در شکل روبه‌رو است، پس داریم: $\gamma = 180^\circ - (\theta_i + \theta_r) = 180^\circ - 2\theta_i$ (زاویهٔ انحراف)

جبههٔ موج فرودی هم پس از برخورد به مانع تخت به اندازهٔ γ منحرف می‌شود. یعنی زاویهٔ بین امتداد جبههٔ موج فرودی و جبههٔ موج بازتابنده برابر γ است.

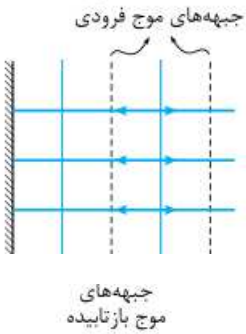


تست در شکل روبه‌رو جبههٔ موج فرودی با سطح مانع تخت زاویهٔ 55° می‌سازد. جبههٔ بازتابیده نسبت به جبههٔ فرودی چند درجه منحرف می‌شود؟



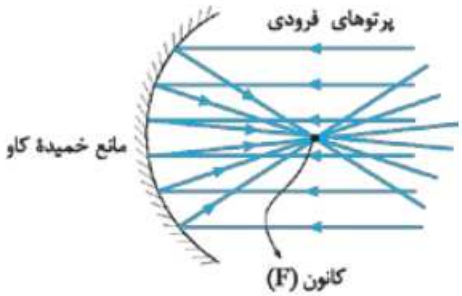
۱) ۱۱۰ ۲) ۷۰ ۳) ۵۵ ۴) ۳۵

۴ اگر مانند شکل مقابل جبهه‌های موج فرودی موازی سطح مانع باشند، جبهه‌های موج بازتابیده هم موازی سطح مانع بازتاب می‌شوند. به بیانی دیگر اگر پرتوی فرودی عمود بر سطح مانع باشد، بر روی خودش بازتاب می‌شود و داریم: $\theta_i = \theta_r = 0$

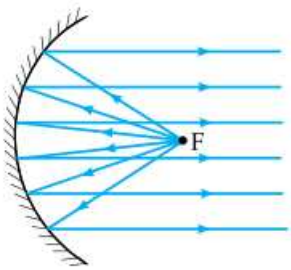


کانون در سطوح خمیده (کروی و سهموی)

ول به شکل (الف) نگاه کنید. یک دسته پرتوی فرودی موازی را روانهٔ یک مانع خمیدهٔ کاو کرده‌ایم، پرتوهای بازتابیده در یک نقطه به هم می‌رسند. به این نقطه کانون (F) می‌گوییم. حالا اگر یک چشمهٔ موج نقطه‌ای را در کانون یک سطح خمیده بگذاریم، پرتوهای بازتابیده موازی می‌شوند (شکل ب).



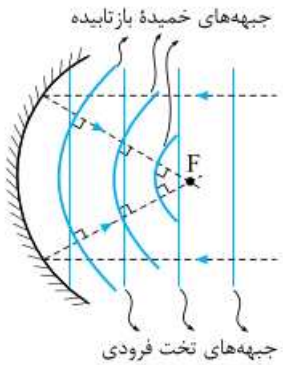
شکل (الف)



شکل (ب)

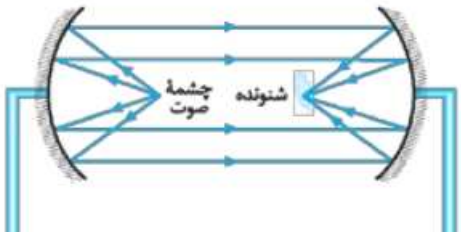
چندنکته

۱ سطوح خمیده جبهه‌های تخت فرودی را به صورت جبهه‌های خمیده بازتاب می‌کنند (شکل روبه‌رو).



همچنین اگر چشمهٔ موج (مثلاً صوت) را بر روی کانون یک سطح خمیدهٔ کاو قرار دهیم، جبهه‌های فرودی به صورت خمیده (کروی) به سطح برخورد می‌کنند و جبهه‌های بازتابیده به صورت تخت و موازی بازتاب می‌شوند.

۲ مانند شکل روبه‌رو اگر دو سطح خمیده (کاو) را روبه‌روی هم بگذاریم و یک چشمهٔ صوت را در کانون یکی قرار دهیم، شنونده‌ای که در کانون سطح کاو دیگر ایستاده است، صدای چشمهٔ صوت را خیلی واضح می‌شنود.



۳ برای ثبت صداهای ضعیف از میکروفون سهموی استفاده می‌کنیم. اساس کار این میکروفون‌ها این است که گیرندهٔ صوت در محل کانون سطح سهموی قرار دارد و بازتاب پرتوهای صوتی در آن نقطه متمرکز می‌شود.

۴ دستگاه سنگ‌شکن کلیه (لیتوتریپسی) از بازتابنده‌های بیضوی ساخته شده است. این دستگاه، امواج بازتابیدهٔ صوتی را در محل سنگ متمرکز می‌کند و با شدت درآوردن سنگ آن را متلاشی می‌کنند.

تست **شخصی در فاصلهٔ معینی از یک سطح کروی کاو و مقابل آن ایستاده و آهسته آوازی را زمزمه می‌کند. اگر این شخص بازتاب صدای خودش را به وضوح بشنود، در کجا ایستاده است؟**

۱) در مرکز سطح کروی
۲) بر روی کانون سطح کروی
۳) در حد فاصل مرکز کانون و سطح کروی
۴) در حد فاصل کانون و سطح کروی

ه صوتی بازتابیده که با یک تأخیر زمانی نسبت به صوت اولیه می‌شنویم، پژواک می‌گوییم. نکتهٔ مهم این است

اگر فاصلهٔ زمانی بین صوت مستقیم و صوت پژواک کم‌تر از $0/1\ s$ باشد، گوش ما نمی‌تواند پژواک را از صوت اولیه تشخیص دهد.

تست **کم‌ترین فاصلهٔ بین ما و یک صخرهٔ بلند باید چند متر باشد تا بتوانیم پژواک صدایمان را از صدای مستقیممان تشخیص دهیم؟ (تندی صوت در هوا را $340\ m/s$ در نظر بگیرید.)** *(برگرفته از تمرین کتاب درسی)*

۱) ۸/۵
۲) ۱۷
۳) ۳۴
۴) ۶۸

مکان‌یابی پژواکی (Echo Location)

بعضی از جانوران مثل خفاش‌ها، دلفین‌ها و وال‌ها با ارسال امواج فراصوتی و دریافت پژواک خود، اجسام اطراف خود را شناسایی می‌کنند. در واقع این جانوران هم‌زمان از دو پدیدهٔ موجی برای تشخیص موقعیت (مکان و حرکت) اجسام استفاده می‌کنند.

۱) پژواک ۲) اثر دوپلر

اگر خود جانور یا جسم مورد هدف او، در حال حرکت باشند، براساس پدیدهٔ دوپلر بسامد صوت پژواک با بسامد صوت اولیه اختلاف خواهد داشت. جانور تغییر بسامد ناشی از اثر دوپلر را در موج بازتابیده تشخیص می‌دهد و بر این اساس می‌تواند سرعت خود یا جسم مورد هدفش را تعیین کند.

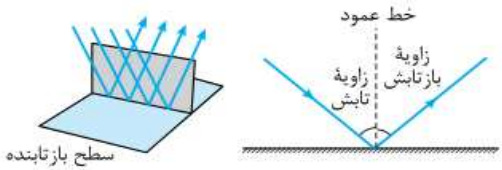
هم‌چنین ما آدم‌ها هم از مکان‌یابی پژواکی در فناوری‌هایی مثل «اندازه‌گیری تندی شارش خون در رگ‌ها»، «مکان‌یابی اجسام زیر آب توسط دستگاه سونار کشتی» و «سونوگرافی» استفاده می‌کنیم.

جانوران به وسیلهٔ مکان‌یابی پژواکی، فقط می‌توانند اجسامی را که ابعاد آن‌ها حداقل برابر طول موج صوت گسیلی باشد، تشخیص دهند. مثلاً اگر طول موج صوت گسیلی $3\ cm$ باشد، جانور اجسام کوچک‌تر از $3\ cm$ را تشخیص نمی‌دهد.

تست **شاه نهنگ (وال عنبر) امواج فراصوتی با بسامد $100\ kHz$ ایجاد می‌کند و با دریافت پژواک آن مکان‌یابی می‌کند. اگر این نهنگ با روش مکان‌یابی پژواکی اجسامی به ابعاد حداقل $1/5\ cm$ را تشخیص دهد، تقریباً چند ثانیه طول می‌کشد تا جسمی در فاصلهٔ ۳۰۰ متری خود را شناسایی کند؟ (فرض کنید نهنگ و جسم ساکن باشند.)** *(برگرفته از تمرین کتاب درسی)*

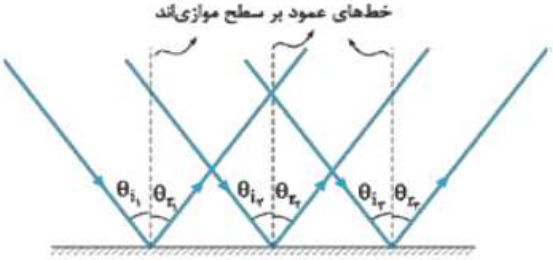
۱) ۰/۴
۲) ۰/۲
۳) ۰/۱
۴) ۰/۰۵

موج‌های الکترومغناطیسی (از جمله نور مرئی) هم مثل موج‌های مکانیکی از قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کنند. یعنی در پدیدهٔ بازتاب موج‌های الکترومغناطیسی هم $\theta_i = \theta_r$ است و پرتوی تابش، پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در یک صفحه قرار دارند.

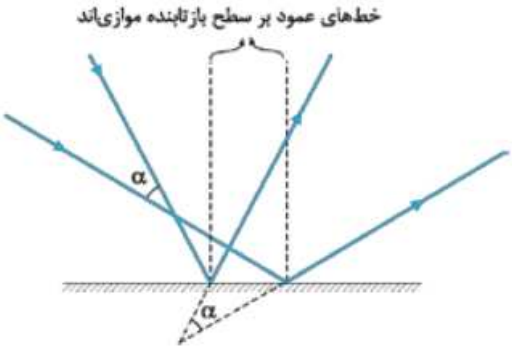


بازتاب نور از یک سطح را با توجه به هموار‌بودن یا هموارنبودن سطح می‌توانیم به دو دسته تقسیم کنیم:

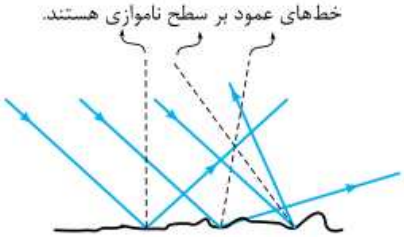
الف) بازتاب آینه‌ای (منظم): اگر سطح بازتابندهٔ نور مانند یک آینه بسیار هموار و صیقلی باشد، خطوط عمود بر سطح برای همهٔ پرتوها با هم موازی می‌شوند و در نتیجه پرتوهای تابش به صورت منظم بازتاب می‌شوند. مثلاً اگر مثل شکل روبه‌رو پرتوهای موازی را به سطح صیقلی و هموار بتابانیم، پرتوها به صورت موازی و منظم بازتاب می‌شوند.



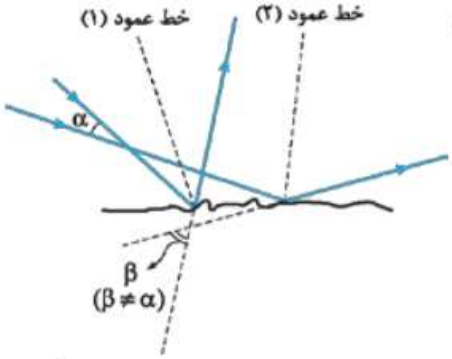
در بازتاب منظم اگر دو پرتوی تابش با هم زاویهٔ α بسازند، پرتوهای بازتابشی هم با یکدیگر زاویهٔ α می‌سازند (شکل روبه‌رو).



ب) بازتاب پخشنده (نامنظم): اگر سطح بازتابنده صیقلی و هموار نباشد، بازتاب نامنظم می‌شود. دلیلش این است که ناهمواربودن سطح باعث می‌شود خط‌های عمود بر سطح موازی نباشند. مثلاً اگر پرتوهای موازی را به سطح ناصاف بتابانیم، ناموازی‌بودن خط‌های عمود بر سطح باعث می‌شود پرتوهای بازتاب موازی نباشند.



شکل روبه‌رو را ببینید، در بازتاب پخشنده اگر دو پرتوی تابش با هم زاویهٔ α بسازند، پرتوهای بازتابشان لزوماً با هم زاویهٔ α نمی‌سازند.

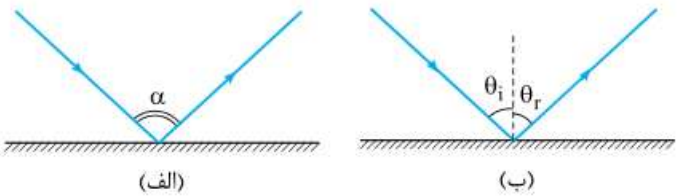


چندنکته

۱) سطح صاف و سطح ناصاف در فیزیک موج تعریف مشخصی دارد. سطح صاف سطحی است که ابعاد ناهمواری‌هایش از محدودهٔ طول موج فرودی (مثلاً برای نور مرئی حدود $0/5\ \mu m$) کوچک‌تر است. سطح ناصاف هم سطحی است که ابعاد ناهمواری‌های آن به طور قابل توجهی از طول موج فرودی بزرگ‌تر است. مثلاً سطحی مثل کاغذ شاید از دید چشم ما صاف به نظر برسد اما از دید میکروسکوپی پستی بلندی‌هایی با ابعاد حدود چندین میکرومتر دارد و چون این پستی بلندی‌ها بزرگ‌تر از طوج موج نور مرئی هستند، سطح کاغذ برای نور مرئی ناصاف به حساب می‌آید. بنابراین ناهمواری‌های هر سطحی که بازتاب آینه‌ای دارد از طول موج نور فرودی کوچک‌تر است و ناهمواری‌های هر سطحی که بازتاب پخشنده دارد از طول موج نور فرودی به مراتب بزرگ‌تر است.

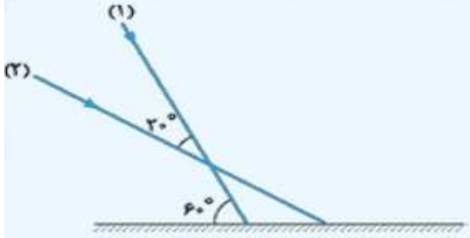
۲) قانون بازتاب عمومی برای همهٔ سطح‌های بازتابنده (چه صاف و چه ناصاف) درست است و استثنایی ندارد. در واقع یک سطح ناصاف از بی‌شمار سطح صاف ریز تشکیل شده است که خط‌های عمودشان با هم موازی نیست.

۳) چون $\theta_i = \theta_r$ است، زاویهٔ بین پرتوی تابش و پرتوی بازتابش همیشه برابر $2\theta_r$ یا $2\theta_i$ است، زیرا با مقایسهٔ شکل‌های (الف) و (ب):



$$\alpha = \theta_i + \theta_r \xrightarrow{\theta_i = \theta_r} \alpha = 2\theta_i = 2\theta_r$$

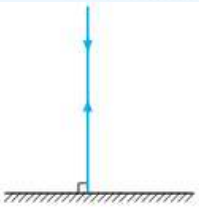
تست در شکل روبه‌رو زاویهٔ تابش پرتوی «۲» (θ_{r_2}) چند درجه است؟



۱) ۴۰
۲) ۵۰
۳) ۷۰
۴) ۸۰

۴ اگر پرتویی را عمود بر سطح بازتابنده بتابانیم، بر روی خودش بازتاب می‌شود. در این حالت زاویهٔ تابش و بازتابش برابر صفر است:

$$\theta_i = \theta_r = 0$$

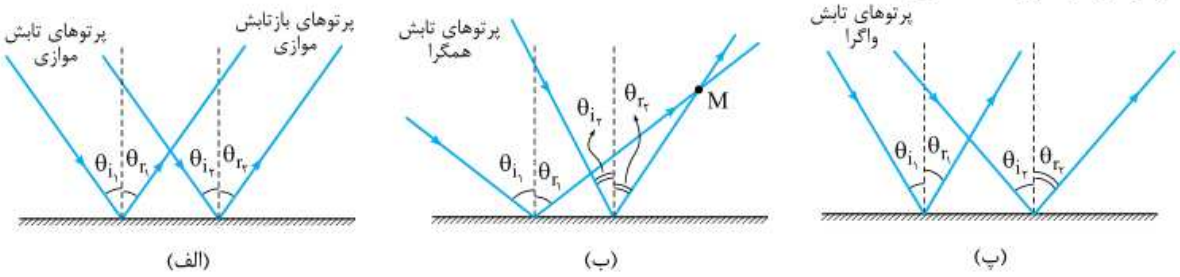


۵ آینهٔ تخت برای نور مرئی یک سطح بازتابندهٔ صاف است که طبق قانون بازتاب عمومی:

الف) پرتوهای موازی را به صورت موازی باز می‌تاباند (شکل الف).

ب) پرتوهای همگرا را به صورت همگرا باز می‌تاباند. شکل (ب) را ببینید! این پرتوی بازتابش از سطح آینه تا محل برخورد پرتوها (نقطهٔ M) همگرا است و از آن به بعد واگرا می‌شود.

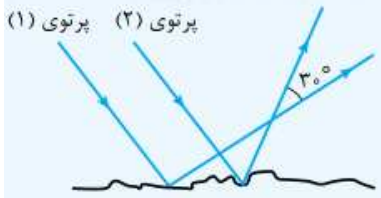
پ) پرتوهای واگرا را به صورت واگرا بازتاب می‌کند (شکل پ).



تست در آینهٔ تختی اگر زاویهٔ بین پرتوی تابش و سطح آینه ۳ برابر زاویهٔ بازتابش باشد، زاویهٔ بین پرتوی تابش و پرتوی بازتابش چند درجه است؟

۱) ۲۲/۵ ۲) ۴۵ ۳) ۶۷/۵ ۴) ۹۰°

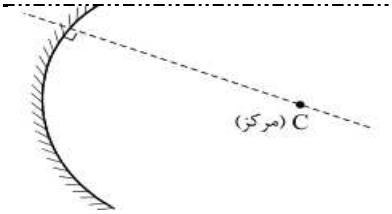
تست در شکل روبه‌رو، دو پرتوی موازی به سطحی ناصاف تابیده است. اگر پرتوهای بازتاب با هم زاویهٔ ۳۰° بسازند، زاویهٔ تابش پرتوی «۱» ..... از زاویهٔ بازتابش پرتوی «۲» است. (پرتوهای تابش و بازتابش همگی در یک صفحه قرار دارند.)



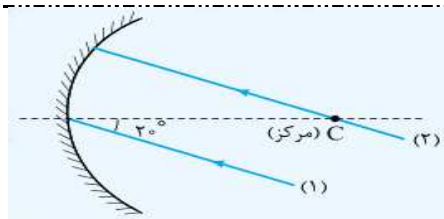
۱) ۱۵° بیشتر
۲) ۱۵° کم‌تر
۳) ۳۰° بیشتر
۴) ۳۰° کم‌تر

خط عمود بر سطح کره از مرکز کره می‌گذرد.

از هندسه یادتان هست که هر خطی که از مرکز یک کره می‌گذرد، بر سطح آن کره عمود است. پس این جا هم می‌توانیم بگوییم «امتداد خط عمود بر سطح یک آینهٔ کروی از مرکز آینه (یعنی مرکز کره) می‌گذرد.» (شکل روبه‌رو)



تست در شکل روبه‌رو، دو پرتوی موازی (۱) و (۲) به سطح یک آینهٔ کروی کاو می‌تابند. زاویهٔ بین پرتوهای بازتابش چند درجه است؟

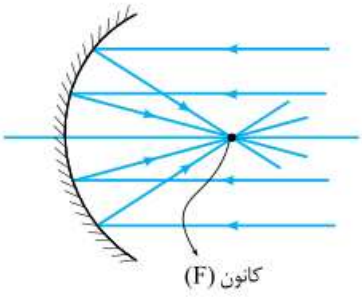


۱) ۷۰
۲) ۴۰
۳) ۲۰
۴) ۱۰

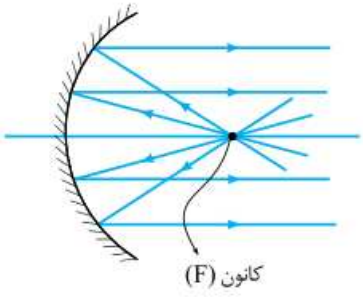
کانون آینه‌های کروی

در درس‌نامه‌های قبلی دربارهٔ کانون صوتی صحبت کردیم. اگر یک دسته پرتوی موازی با محور اصلی آینه به آینهٔ کروی کاو بتابانیم، پرتوهای بازتابش در کانون به هم می‌رسند. (شکل الف)

عکس این موضوع هم درست است، یعنی مطابق شکل (ب) پرتوهای تابشی که از کانون می‌گذرند، به طور موازی با هم بازتاب می‌شوند.

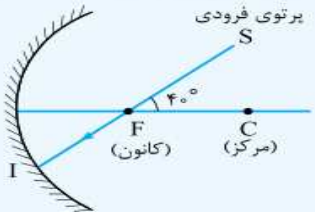


(الف)



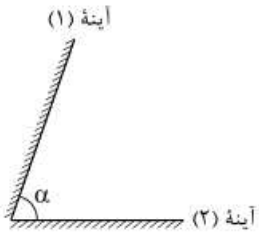
(ب)

تست زاویهٔ بازتابش پرتوی SI در شکل روبه‌رو چند درجه است؟



۱) ۱۰
۲) ۲۰
۳) ۴۵
۴) ۴۰

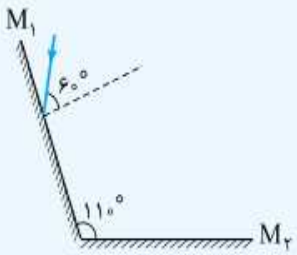
دو آینه‌ای را که سطح بازتابنده‌شان با هم زاویهٔ α می‌سازد، آینه‌های متقاطع می‌نامیم (شکل روبه‌رو). دو نوع سؤال از این آینه‌ها در کنکور مطرح می‌شود.



۱- بررسی مسیر پرتو از تابش به آینهٔ (۱) با بازتاب از آینهٔ (۲)

در این‌جور مسئله‌ها کافی است اول براساس قانون بازتاب عمومی $(\theta_i = \theta_r)$، پرتوهای تابش و بازتابش آینه را بکشید و بعد به کمک قضیهٔ زوایای داخلی مثلث (که مجموع آن‌ها برابر ۱۸۰° است)، زاویهٔ تابش به آینهٔ (۲) را حساب کنید. تست زیر را ببینید:

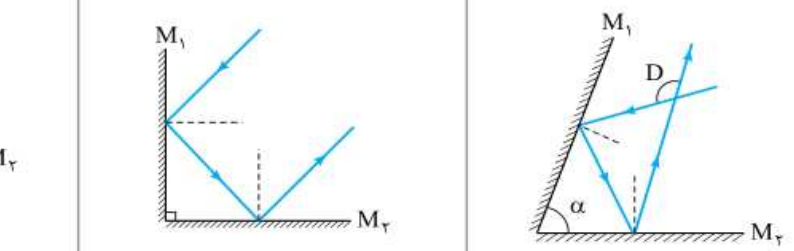
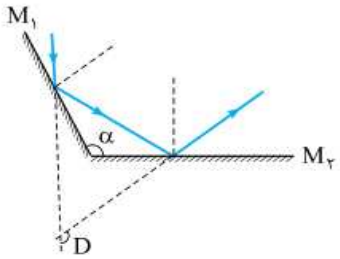
تست در شکل روبه‌رو، زاویهٔ بازتابش از آینهٔ M_2 چند درجه است؟



۱) ۳۰
۲) ۴۰
۳) ۵۰
۴) ۶۰

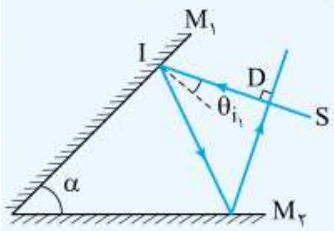
۲ـ محاسبهٔ زاویهٔ انحراف

زاویهٔ انحراف یعنی پرتوی بازتابش از آینهٔ دوم چند درجه نسبت به پرتوی تابیده‌شده به آینهٔ اول منحرف شده است. نکتهٔ خیلی مهم این است که **زاویهٔ انحراف در دو آینهٔ متقاطع به زاویهٔ تابش بستگی ندارد** و فقط به زاویهٔ بین دو آینه وابسته است. در جدول زیر زاویهٔ انحراف را در سه وضعیت نشان داده‌ایم. ($\hat{D}$ در شکل‌های این جدول زاویهٔ انحراف است.)

زاویهٔ بین دو آینه (α)	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha > 90^\circ$
شکل			

زاویهٔ بین دو آینه (α)	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha > 90^\circ$
توضیح	پرتوی تابش به M_1 و بازتابش از M_2 در جلوی دو آینه به هم برخورد می‌کنند.	پرتوی تابش به M_1 و بازتابش از M_2 موازی‌اند.	امتداد پرتوی تابش به M_1 و بازتابش از M_2 پشت دو آینه به هم می‌رسند.
فرمول	$\hat{D} = 2\alpha$	$\hat{D} = 180^\circ$	$\hat{D} = 360^\circ - 2\alpha$

تست در شکل روبه‌رو، پرتوی بازتابیده از M_2 نسبت به پرتوی SI، 90° منحرف شده است، α چند درجه است؟



۱) باید $\hat{\theta}_{i_1}$ معلوم باشد.

۲) ۴۵

۳) ۹۰

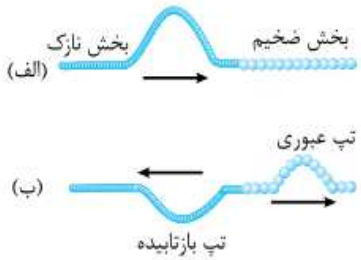
۴) ۳۰

تا الان رفتار موج را در یک محیط بررسی کردیم. حالا می‌خواهیم ببینیم اگر موج از یک محیط وارد محیط دیگری بشود، چه اتفاقی می‌افتد.

به طور کلی می‌توانیم بگوییم اگر موج به مرز جدایی دو محیط برسد، بخشی از (انرژی) آن بازتاب می‌شود، بخشی دیگر از (انرژی) آن وارد محیط دوم می‌شود و قسمتی از آن هم توسط دو محیط جذب می‌شود و به صورت گرما هدر می‌رود. (ما طبق معمول از اتلاف انرژی چشم‌پوشی می‌کنیم.)

انتقال موج عرضی از یک طناب به طنابی دیگر (عبور موج یک‌بُعدی از مرز)

در شکل‌های مقابل، دو طناب با ضخامت مختلف در امتداد هم قرار دارند. در شکل (الف) یک تپ را می‌بینید که در حال نزدیک‌شدن به مرز دو طناب است و در شکل (ب) قسمتی از آن تپ از مرز عبور کرده و وارد طناب ضخیم‌تر شده و قسمتی هم بازتاب شده است.



این‌جا باید حواسمان به چند موضوع باشه.

اول این‌که می‌دانید که تندی انتشار موج به ویژگی‌های محیط انتشار وابسته است و با تغییر محیط، تندی تغییر می‌کند.

دوم این‌که بسامد موج فقط وابسته به چشمه است و حتی با تغییر محیط هم تغییر نمی‌کند.

و **سوم این‌که** طول موج (طبق فرمول $\lambda = \frac{v}{f}$) هم به تندی وابسته است، هم به بسامد.

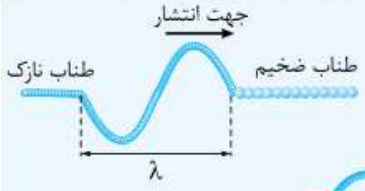
بنابراین وقتی موج از یک طناب وارد طناب دیگر می‌شود، بدون آن‌که بسامد تغییر کند، تندی و طول موج آن به یک نسبت تغییر می‌کند.

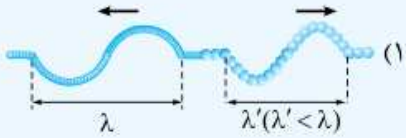
چندنکته

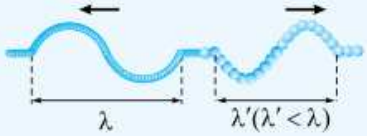
۱) در طناب‌های متوالی، نیروی کشش در تمام طول آن‌ها یکسان است.

۲) حتماً یادتان هست که تندی انتشار موج در طناب از فرمول‌های $v=\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ یا $v=\sqrt{\frac{FL}{m}}$ یا $v=\sqrt{\frac{F}{\rho A}}$ محاسبه می‌شود. طبق فرمول $v=\sqrt{\frac{F}{\rho A}}$ هر چه طناب ضخیم‌تر باشد (یعنی A بزرگ‌تری داشته باشد)، تندی انتشار موج و در نتیجه طول موج در آن کم‌تر است.
مثلاً در شکل (ب) تندی و طول موج تپ عبوری از تندی و طول موج تپ بازتابشی کم‌تر است. (چرا؟)

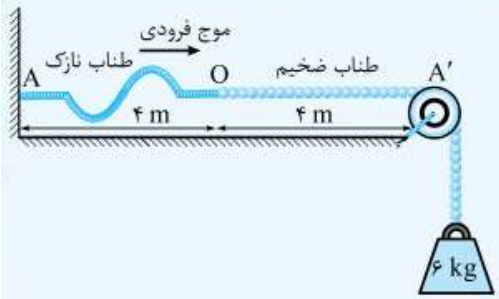
تست **مطابق شکل، یک تپ سینوسی به مرز دو طناب می‌رسد. کدام گزینه تپ بازتابشی و تپ عبوری را درست نشان می‌دهد؟ (دو طناب هم‌جنس و هم‌چگال‌اند.)**



۱) 

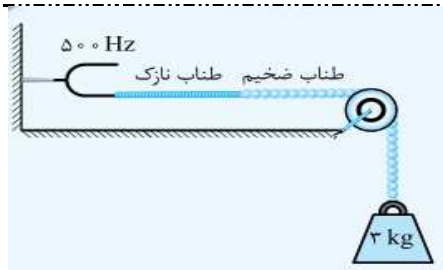
۲) 

تست **در شکل مقابل، دو طناب هم‌جنس با چگالی $2\ g/cm^3$ یکی به قطر $1\ cm$ و دیگری به قطر $2\ cm$ در یک امتداد به هم متصل‌اند و یک تپ سینوسی فرودی به مرز دو طناب (نقطهٔ O) می‌رسد و از آن‌جا هم‌زمان دو تپ بازتابشی و عبوری شکل می‌گیرد. اگر قلهٔ تپ بازتابشی در مدت Δt_1، مسافت OA و قلهٔ تپ عبوری در مدت Δt_2، مسافت OA′ را بپیماید، کدام گزینه درست است؟ $(\pi \simeq 3\ ,\ g = 10\ N/kg)$**



۱) $\Delta t_1 - \Delta t_2 = 0/4\ s$
۲) $\Delta t_2 - \Delta t_1 = 0/2\ s$
۳) $\Delta t_1 - \Delta t_2 = 0/2\ s$
۴) $\Delta t_2 - \Delta t_1 = 0/4\ s$

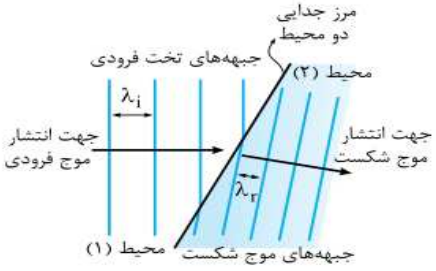
تست **در شکل روبه‌رو، با عبور موج از مرز بین طناب نازک و ضخیم، طول موج و تندی آن به ترتیب به میزان $\Delta\lambda$ و Δv تغییر می‌کند. طناب‌ها هم‌جنس‌اند و چگالی آن‌ها $4\ g/cm^3$ است. اگر قطر طناب نازک $0/5\ cm$ و قطر طناب ضخیم $2\ cm$ باشد، کدام گزینه درست است؟ $(\pi \simeq 3\ ,\ g = 10\ N/kg)$**



۱) $|\Delta\lambda| = 3\ cm \quad , \quad |\Delta v| = 15\ m/s$
۲) $|\Delta\lambda| = 12\ cm \quad , \quad |\Delta v| = 60\ m/s$
۳) $|\Delta\lambda| = 2\ cm \quad , \quad |\Delta v| = 15\ m/s$
۴) $|\Delta\lambda| = 8\ cm \quad , \quad |\Delta v| = 60\ m/s$

وقتی که موج سطحی می‌خواهد از یک محیط وارد محیط دیگر بشود، شبیه همین اتفاق می‌افتد، یعنی تغییر تندی موج می‌تواند جهت انتشار آن را تغییر دهد. به این پدیده **شکست موج** می‌گویند.

در شکل مقابل، تندی موج در محیط (۲) کم‌تر از محیط (۱) است. جبهه‌های تخت موج فرودی با طول موج λ_i به مرز جدایی دو محیط می‌رسند و هر بخش از جبههٔ موج به محض عبور از مرز، تندی‌اش کاهش می‌یابد و در نتیجه تغییر جهت می‌دهد. هم‌زمان با کاهش تندی، طول موج هم کم می‌شود $(\lambda_2 < \lambda_i)$.



پس می‌توانیم بگوییم در اثر عبور موج از مرز هم‌زمان سه اتفاق می‌افتد:
۱) تندی موج تغییر می‌کند. ۲) طول موج تغییر می‌کند. ۳) موج تغییر جهت می‌دهد.

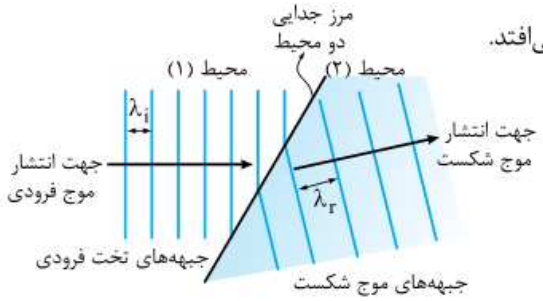
تست در شکل روبه‌رو، یکی از قله‌های تخت یک موج را بر روی سطح آب نشان داده‌ایم که از منطقهٔ (۱) آمده و بخشی از آن وارد منطقهٔ (۲) شده است. کدام گزینه در مورد این دو منطقه درست است؟

۱) منطقهٔ (۲) از منطقهٔ (۱) کم‌عمق‌تر است.
۲) تندی موج در منطقهٔ (۲) بیشتر از تندی موج در منطقهٔ (۱) است.
۳) طول موج در منطقهٔ (۱) بلندتر از طول موج در منطقهٔ (۲) است.
۴) بسامد موج در منطقهٔ (۲) بیشتر از بسامد موج در منطقهٔ (۱) است.

چند نکته

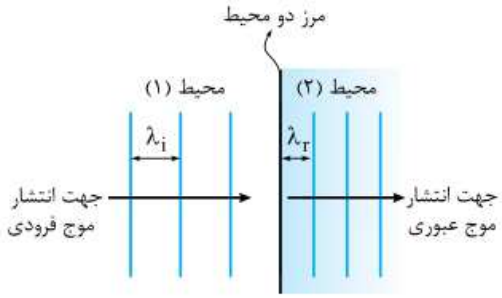
۱ این پدیده که در صفحهٔ قبل توضیح دادیم، برای موج‌های سه‌بُعدی مثل صوت و نور هم اتفاق می‌افتد.

۲ اگر موج از محیطی به محیط دیگر برود و تندی موج در محیط جدید بیشتر باشد، با افزایش تندی، طول موج هم افزایش می‌یابد و شکل شکست موج مانند شکل روبه‌رو است:

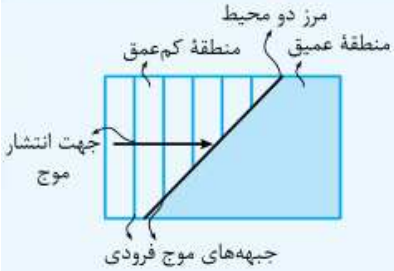


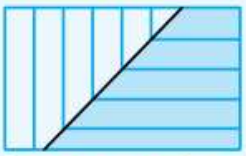
۳ در آب‌های کم‌عمق، هر چه عمق آب کم‌تر باشد، تندی موج سطحی کم‌تر است؛ در نتیجه تغییر عمق آب می‌تواند باعث شکست و تغییر جهت موج‌های سطحی شود.

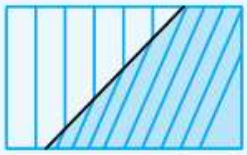
۴ اگر جبهه‌های موج فرودی موازی مرز دو محیط باشند، طول موج و تندی موج با عبور از مرز تغییر می‌کند، ولی جهت انتشار تغییر نمی‌کند. در شکل روبه‌رو، تندی موج در محیط (۲) کم‌تر از تندی آن در محیط (۱) است و به همین دلیل طول موج (طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$) کم شده است؛ اما جهت انتشار تغییر نکرده است.

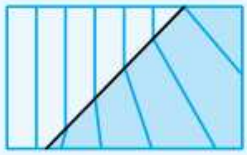


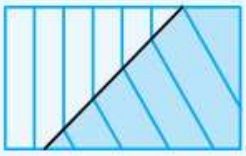
تست در شکل مقابل، یک تشت موج را از بالا می‌بینید که در آن به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای، امواج تخت ایجاد کرده‌ایم. کدام‌یک از گزینه‌های زیر، جبهه‌های موج عبوری را درست نشان می‌دهد؟



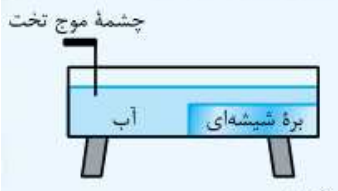
۱)


۲)


۳)


۴)


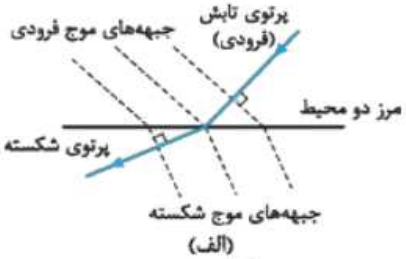
تست در یک تشت موج، به کمک یک نوسان‌ساز تیغه‌ای که با بسامد ۱۰ Hz کار می‌کند، امواج تختی را ایجاد می‌کنیم؛ به طوری که فاصلهٔ دو ستیغ متوالی در ناحیهٔ عمیق برابر ۵ cm است. مطابق شکل یک بُرهٔ شیشه‌ای در تشت می‌گذاریم. اگر تندی امواج سطحی بالای بُره شیشه‌ای ۰/۲ m/s با تندی موج در سطح ناحیهٔ عمیق اختلاف داشته باشد، طول موج در سطح آب بالای بُرهٔ شیشه‌ای چند سانتی‌متر است؟ *(برگرفته از تمرین کتاب درسی)*



۱) ۲ ۲) ۳ ۳) ۵ ۴) ۸

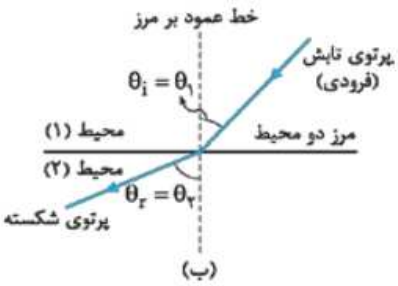
زاویهٔ تابش و زاویهٔ شکست

در پدیدهٔ بازتاب، امواج را با پرتوهایی که بر جبهه‌های موج عمودند، نمایش دادیم. این‌جا هم می‌توانیم همین کار را بکنیم. همین‌طور که در شکل (الف) می‌بینید، پرتوی تابش (فرودی) بر جبهه‌های موج فرودی و پرتوی شکسته بر جبهه‌های موج شکسته عمودند. پیکان پرتوهای تابش و شکسته جهت انتشار موج را نشان می‌دهد.



(الف)

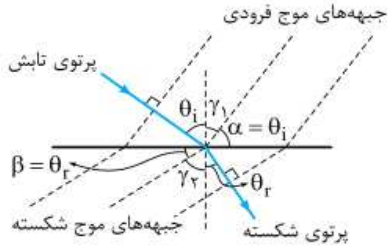
در شکل (ب) دیگر جبهه‌های موج را نکشیده‌ایم. به زاویه‌ای که پرتوی تابش با خط عمود بر مرز می‌سازد (یعنی θ_i)، **زاویهٔ تابش** و به زاویه‌ای که پرتوی شکسته با خط عمود بر مرز می‌سازد (یعنی θ_r)، **زاویهٔ شکست** می‌گوییم. (بیشتر اوقات برای راحتی θ_i را با θ_1 و θ_r را با θ_2 هم نشان می‌دهیم.)



(ب)

به راحتی می‌توانیم ثابت کنیم که در مدل رسم جبهه‌های موج، زاویه‌ای که جبههٔ موج فرودی با مرز می‌سازد، برابر زاویهٔ تابش (θ_i) و زاویه‌ای که جبههٔ موج شکست با مرز می‌سازد، برابر زاویهٔ شکست (θ_r) است.

اثبات: همین‌طور که به شکل روبه‌رو نگاه می‌کنید، روند اثبات را دنبال کنید.



$$\begin{cases}\theta_i + \gamma_1 = 90^\circ \\ \alpha + \gamma_1 = 90^\circ\end{cases} \Rightarrow \alpha = \theta_i$$

$$\begin{cases}\theta_r + \gamma_2 = 90^\circ \\ \beta + \gamma_2 = 90^\circ\end{cases} \Rightarrow \beta = \theta_r$$

(α و β به ترتیب زاویه‌هایی هستند که جبهه‌های موج فرودی و شکسته با مرز می‌سازند.)

قانون شکست عمومی

اگر تندی موج فرودی، v_1 و تندی موج شکسته v_2 باشد:

۱) همواره نسبت $\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r}$ برابر $\frac{v_1}{v_2}$ است:

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{یا} \quad \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

۲) پرتوی تابش، پرتوی شکسته و خط عمود بر مرز همواره در یک صفحه قرار دارند.

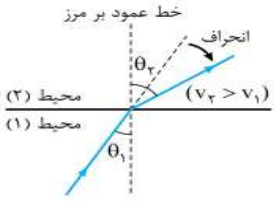
چندنکته

۱) با توجه به فرمول $\lambda = \frac{v}{f}$ و این‌که بسامد تغییر نمی‌کند، می‌توانیم بگوییم که:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

۲) اگر $v_2 > v_1$ (یا $\lambda_2 > \lambda_1$) باشد، شکست به گونه‌ای است که پرتوی شکسته در جهت دورشدن بیشتر از خط عمود بر مرز منحرف شود. (شکل روبه‌رو)

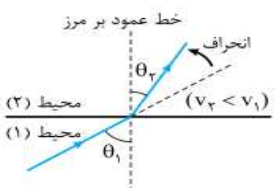
$$v_2 > v_1 \Rightarrow \theta_2 \geq \theta_1$$



حواستون باشه! علامت مساوی برای حالتی است که پرتوی تابش عمود بر مرز بتابد (یعنی $\theta_1 = 0$). در این صورت پرتو بدون تغییر مسیر عبور می‌کند.

۳) اگر $v_2 < v_1$ (یا $\lambda_2 < \lambda_1$) باشد، مانند شکل روبه‌رو، پرتوی عبوری در جهت نزدیک‌شدن به خط عمود می‌شکند.

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

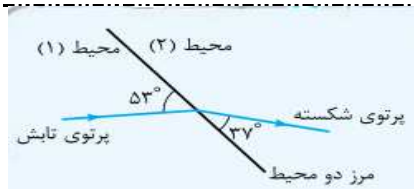


(باز هم حالت مساوی برای وقتی است که پرتوی تابش عمود بر مرز بتابد.)

۴) به اختلاف زاویهٔ شکست و تابش، زاویهٔ انحراف می‌گوییم:

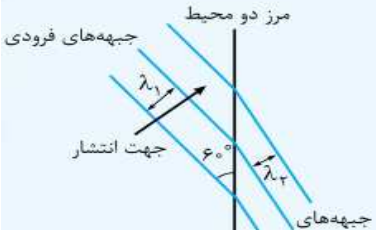
$$\hat{D} = |\theta_2 - \theta_1| \quad \text{(زاویهٔ انحراف)}$$

تست در شکل مقابل، اگر تندی موج در محیط (۲) و محیط (۱)، $3\ m/s$ اختلاف داشته باشند، تندی موج در محیط (۱) چند متر بر ثانیه است؟ $(\sin 53^\circ = 0/8 , \sin 37^\circ = 0/6)$



۱) ۱۲
۲) ۶
۳) ۱۵
۴) ۹

تست در شکل روبه‌رو، طول موج فرودی (λ_1)، $\frac{5\sqrt{3}}{6}$ برابر طول موج شکسته (λ_2) است. جبهه‌های موج چند درجه شکسته‌اند؟ $(\sin 53^\circ = 0/8)$



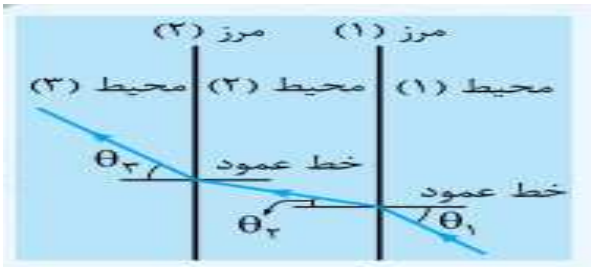
۱) ۷
۲) ۱۵
۳) ۲۳
۴) ۳۰

ما شکست موج‌های نوری را نسبت به شکست امواج دیگر بیشتر می‌شناسیم. تشکیل رنگین‌کمان، بهتردیدن تصویر اجسام با عینک، تصاویری که میکروسکوپ و دوربین تشکیل می‌دهند و ... همگی نمونه‌هایی از پدیدهٔ شکست موج‌های نوری هستند.

قانون شکست عمومی *(از اسمش هم معلومه)* برای همهٔ موج‌ها از جمله موج‌های الکترومغناطیسی (مثل نور مرئی) کاربرد دارد.

در ضمن همهٔ نکته‌ها و مفاهیمی که برای شکست موج‌های مکانیکی گفتیم، برای موج‌های الکترومغناطیسی هم درست است.

تست شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که از سه محیط عبور می‌کند. اگر $\theta_3 > \theta_1 > \theta_2$ شد، کدام گزینه دربارهٔ تندی این موج درست است؟ *(برگرفته از پرسش کتاب درسی)*



۱) $V_3 > V_1 > V_2$
۲) $V_2 > V_1 > V_3$
۳) $V_1 = V_2 = V_3$
۴) $V_1 > V_3 > V_2$

ضریب شکست نور (n)

بیشترین تندی که ما می‌شناسیم تندی چیه؟ احتمالاً می‌گید: تندی نور! احتمالاً بعضی‌ها دقیق‌تر می‌گن: «**تندی نور در خلأ**»؛ کاملاً درست است. تندی نور و انواع موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ (که برابر $299792458\ m/s$ است و ما آن را در محاسبات برابر $3\times10^8\ m/s$ می‌گیریم)، بیشترین تندی ممکن است. آیا تندی نور در محیط‌های غیرخلأ کم‌تر از این مقدار است؟ جواب: بله.

همهٔ این‌ها را گفتیم که به این‌جا برسیم: طبق تعریف، ضریب شکست یک محیط نسبت تندی نور در خلأ (تندی موج الکترومغناطیسی در خلأ) به تندی موج الکترومغناطیسی در آن محیط (یعنی $\frac{c}{v}$) است:

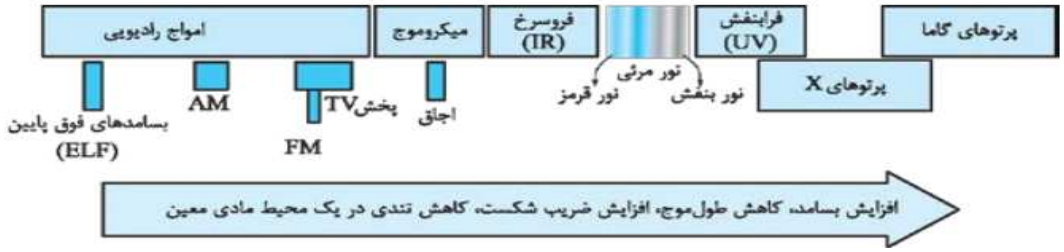
$$n = \frac{c}{v}$$

c: تندی نور در خلأ
n: ضریب شکست محیط
v: تندی موج الکترومغناطیسی در محیط

موقع خوندن نکته‌های زیر به هیچ‌چیز دیگه فکر نکنید! با حواس جمع بخونید تا قاطی نشه!

چند نکته

۱) تندی همهٔ فرکانس‌های موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ با هم برابر است $(c = 3\times10^8\ m/s)$ ولی تندی فرکانس‌های مختلف از موج‌های الکترومغناطیسی در یک محیط مادی با هم برابر نیست. بنابراین، ضریب شکست محیط (نسبت $\frac{c}{v}$) برای فرکانس‌های مختلف موج‌های الکترومغناطیسی یکسان نیست. (مثلاً در یک محیط مادی شفاف، ضریب شکست محیط برای نور بنفش بیشتر از ضریب شکست محیط برای نور قرمز است.) در واقع هر چه بسامد موج الکترومغناطیسی بیشتر باشد، ضریب شکست محیط بزرگ‌تر است. تغییرات کمیت‌ها را در نمودار زیر با دقت ببینید و به خاطر بسپارید.



۲) ضریب شکست همهٔ طول موج‌های امواج الکترومغناطیسی در خلأ برابر ۱ است، چون نسبت $\frac{c}{v}$ آن‌ها برابر یک می‌شود.

$$n = \frac{c}{v} \xrightarrow{\text{در خلأ برای همهٔ طول‌موج‌ها } v=c \text{ است.}} n_{\text{خلأ}} = ۱$$

ضریب شکست هوا هم فقط کمی بیشتر از ۱ است. برای همین در مسئله‌ها ضریب شکست هوا را هم مساوی ۱ می‌گذاریم.

۳) گفتیم تندی نور در خلأ بیشترین تندی ممکن است؛ پس نسبت $\frac{c}{v}$ برای محیط‌های مادی همواره بزرگ‌تر از ۱ است، یعنی همواره داریم: $n \geq ۱$ (حالت $n = ۱$ برای خلأ است.)

۴) طبق رابطهٔ $n = \frac{c}{v}$، هر چه ضریب شکست یک محیط برای طول موج خاص بیشتر باشد، تندی موج در آن محیط کم‌تر است.

مثلاً در یک محیط مادی، ضریب شکست برای نور بنفش از ضریب شکست برای نور قرمز بیشتر است؛ پس در آن محیط، تندی نور بنفش از تندی نور قرمز کم‌تر است. $n_{\text{بنفش}} > n_{\text{قرمز}} \Rightarrow v_{\text{بنفش}} < v_{\text{قرمز}}$

حواستون باشه! در خلأ $v_{\text{بنفش}}$ برابر $v_{\text{قرمز}}$ است: $v_{\text{بنفش}} = v_{\text{قرمز}} = c$:در خلأ

۵) طبق رابطهٔ $n = \frac{c}{v_۱} = \frac{\lambda_۰}{\lambda_۱}$ وقتی نور (موج الکترومغناطیسی) از خلأ وارد یک محیط مادی شفاف می‌شود، تندی و طول موجش کم می‌شود. براساس این رابطه درصد تغییرات تندی و درصد تغییرات طول موج با هم برابر است. درصد تغییرات طول موج و تندی به صورت زیر محاسبه می‌شود. (در این محاسبات $\lambda_۰$ طول موج در خلأ و $\lambda_۱$ طول موج در محیط (۱) است.)

$$\text{درصد تغییرات تندی} = \text{درصد تغییرات طول موج} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_۰} \times ۱۰۰ = \frac{\lambda_۱ - \lambda_۰}{\lambda_۰} \times ۱۰۰ = (\frac{\lambda_۱}{\lambda_۰} - ۱) \times ۱۰۰ = (\frac{۱}{n} - ۱) \times ۱۰۰ = \frac{۱-n}{n} \times ۱۰۰$$

با توجه به این‌که $n > ۱$ است، مقدار $\frac{۱-n}{n}$ منفی می‌شود و این به معنی کاهش تندی و طول موج نور در اثر گذر از خلأ به یک محیط مادی شفاف است. این رابطه به ما می‌گوید هر چه n محیط برای یک نور (موج الکترومغناطیسی) با بسامد معین بیشتر باشد، درصد تغییرات طول موج و درصد تغییرات تندی آن در گذر از خلأ به آن محیط بیشتر است.

تست **ضریب شکست یک شیشهٔ خاص برای نور قرمز برابر ۱/۵ است. طول موج نور قرمز در گذر این نور از خلأ به شیشه تقریباً چند درصد و چگونه تغییر می‌کند؟**

۱) ۳/۳۳ درصد افزایش می‌یابد. ۲) ۳/۳۳ درصد کاهش می‌یابد. ۳) ۶۷/۷ درصد افزایش می‌یابد. ۴) ۶۷/۷ درصد کاهش می‌یابد.

جدول جمع‌بندی نکته‌های گفته شده: فرض کنید یک پرتو با طول موج بیشتر (بسامد کم‌تر) مثلاً نور قرمز و یک پرتو با طول موج کم‌تر (بسامد بیشتر) مثلاً نور بنفش از خلأ وارد یک محیط مادی شفاف بشوند. در جدول زیر تقریباً تمام کمیت‌هایی را که باید بلد باشید، در گذر این دو پرتو از خلأ به محیط مادی شفاف آوردیم. *خواندن دقیق این جدول رو از دست ندید.*

کمیت	در خلأ	در محیط شفاف مادی	تغییر در گذر از خلأ به محیط شفاف مادی
بسامد (f)	$f_{\text{بنفش}} < f_{\text{قرمز}}$	تغییر نمی‌کند. $f_{\text{بنفش}} < f_{\text{قرمز}}$	بسامد تغییر نمی‌کند. $\Delta f_{\text{بنفش}} = \Delta f_{\text{قرمز}} = ۰$
ضریب شکست (n)	ضریب شکست در خلأ برای همهٔ طول موج‌ها برابر ۱ است.	(ضریب شکست هر دو بیشتر از ۱ است.) $۱ < n_{\text{قرمز}} < n_{\text{بنفش}}$	ضریب شکست برای نور بنفش بیشتر از ضریب شکست برای نور قرمز افزایش می‌یابد. $(\Delta n_{\text{قرمز}} < \Delta n_{\text{بنفش}})$
تندی (v)	تندی در خلأ برای همهٔ طول موج‌ها یکسان است. $v_{\text{بنفش}} = v_{\text{قرمز}} = c$	(تندی هر دو کم‌تر از c است.) $c > v'_{\text{قرمز}} > v'_{\text{بنفش}}$	تندی نور بنفش بیشتر از تندی نور قرمز کم می‌شود. $\lvert \Delta v_{\text{قرمز}} \rvert < \lvert \Delta v_{\text{بنفش}} \rvert$
طول موج (λ)	$\lambda_{\text{بنفش}} < \lambda_{\text{قرمز}}$	(طول موج هر دو کم می‌شود.) $\lambda'_{\text{بنفش}} < \lambda'_{\text{قرمز}}$ $\lambda'_{\text{بنفش}} < \lambda_{\text{بنفش}}$ ، $\lambda'_{\text{قرمز}} < \lambda_{\text{قرمز}}$	درصد تغییرات طول موج نور بنفش بیشتر از درصد تغییرات طول موج نور قرمز است.

تست **یک پرتوی نور آبی و یک پرتوی نور زرد از خلأ وارد شیشه می‌شوند. کدام گزینه دربارهٔ گذر از خلأ به شیشه برای این دو پرتو درست است؟**

۱) ضریب شکست برای نور زرد کم‌تر تغییر می‌کند.

۲) بسامد هر دو پرتو به یک اندازه افزایش می‌یابد.

۳) کاهش تندی نور زرد بیشتر از نور آبی است.

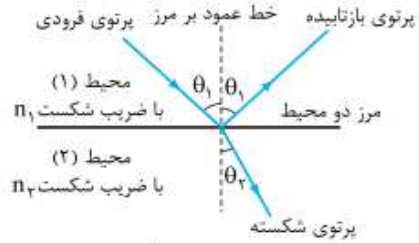
۴) درصد تغییرات طول موج نور آبی کم‌تر از درصد تغییرات طول موج نور زرد است.

به این فرمول می‌گن قانون شکست اسنل. در این فرمول n_1 و n_2 به ترتیب ضریب شکست محیط‌های (۱) و (۲) و θ_1 و θ_2 زاویهٔ تابش و شکست هستند.

می‌خوام یه قبر خوب رو بدم. این فرمول آخرین فرمول این فصل بزرگ بود.

چندنکته ۱ در شکل روبه‌رو نشان داده‌ایم بخشی از پرتویی که بر سطح جدایی دو محیط فرود می‌آید، بازتاب می‌شود و بخش دیگری از آن در محیط دوم شکست می‌یابد.

طراحان تست‌های کنکور زاویهٔ بین پرتوی بازتابش و شکست رو دوست دارن!

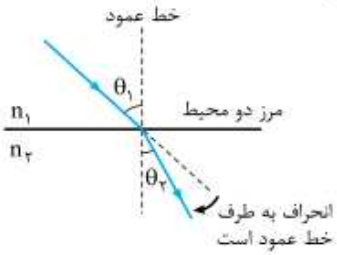


۲ طبق قانون اسنل $(\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{n_2}{n_1})$ دو حالت ممکن است اتفاق بیفتد:

الف) اگر $n_2 > n_1$ باشد، زاویهٔ شکست (θ_2) از زاویهٔ تابش (θ_1) کوچک‌تر می‌شود؛ یعنی مانند شکل مقابل، پرتوی شکست به سمت خط عمود منحرف می‌شود:

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

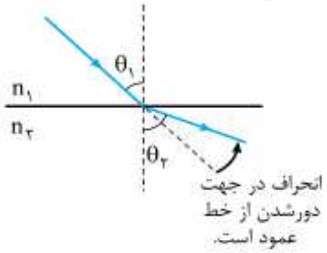
(در این حالت محیط (۲) از محیط (۱) غلیظ‌تر است، مثلاً اگر نور از هوا وارد آب شود، چنین حالتی اتفاق می‌افتد.)



ب) اگر $n_2 < n_1$ باشد، زاویهٔ شکست (θ_2) از زاویهٔ تابش (θ_1) بزرگ‌تر می‌شود. یعنی مثل شکل مقابل، انحراف پرتوی شکسته به سمت دورشدن از خط عمود است.

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

(در این حالت محیط (۲) از محیط (۱) رقیق‌تر است، مثلاً اگر نور از شیشه وارد آب شود یا از آب وارد هوا شود، چنین وضعیتی رخ می‌دهد.)

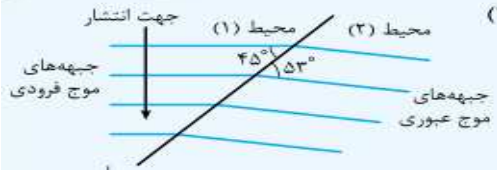


۳ تمام فرمول‌هایی را که برای شکست نور یاد گرفته‌اید، می‌توانیم در یک فرمول نشان دهیم:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

اسم این فرمول رو می‌گذاریم فرمول کلی شکست.

تست **در شکل روبه‌رو، اگر ضریب شکست محیط (۱) برابر $\sqrt{2}$ باشد، ضریب شکست محیط (۲) چه‌قدر است؟ $(\sin 53^\circ = 0/8 , \sin 37^\circ = 0/6)$**



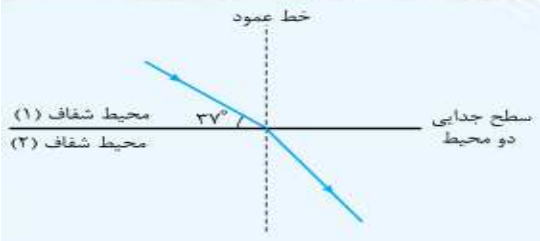
۱) ۱/۲۰

۲) ۱/۶۰

۳) ۱/۶۷

۴) ۱/۲۵

تست **در شکل مقابل، پرتوی شکسته نسبت به پرتوی فرودی 8° از مرز جدایی دو محیط فاصله گرفته است. تندی نور در محیط (۲) چند برابر تندی نور در محیط (۱) است؟ $(\sin 53^\circ = 0/8 , \sin 37^\circ = 0/6)$**



۱) $\frac{3\sqrt{2}}{5}$

۲) $\frac{4\sqrt{2}}{5}$

۳) $\frac{5\sqrt{2}}{6}$

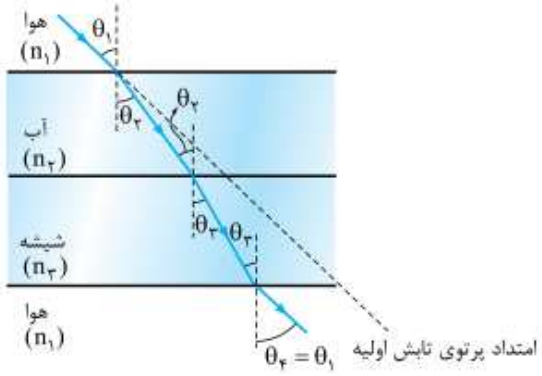
۴) $\frac{5\sqrt{2}}{8}$

تست در شکل روبه‌رو، زاویه‌ای که پرتوی تابش با سطح جدایی دو محیط می‌سازد، 65° است و پرتوی شکسته، 15° نسبت به امتداد پرتوی تابش منحرف می‌شود. زاویهٔ بین پرتوی بازتابش و پرتوی شکسته چند درجه است؟ $(n_1 > n_2)$

۱) ۳۵ ۲) ۱۱۵
۳) ۷۵ ۴) ۱۴۵

شکست نور در عبور از محیط‌های شفاف متوازی السطوح

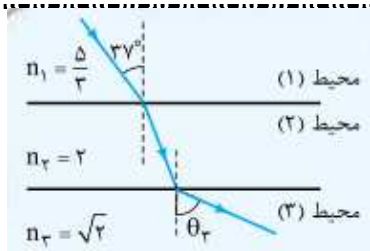
مانند شکل روبه‌رو، گاهی نور در مسیرش از چند محیط شفاف که سطح جدایی‌شان با هم موازی است، می‌گذرد. در این شکل، خط‌های موازی و مورب به وضوح دیده می‌شود، به طوری که زاویهٔ تابش و شکست درون یک محیط با هم برابر است.



- اگر نور بعد از عبور از چند محیط شفاف متوازی‌السطوح دوباره به محیط اولیه بازگردد (مثل شکل روبه‌رو که محیط اول و آخر هواست)، پرتوی خروجی موازی پرتوی تابش اولیه خواهد شد، یعنی: $\theta_4 = \theta_1$
- در محیط‌های متوازی‌السطوح می‌توانید قانون اسنل را برای هر دو محیط دلخواه (بدون در نظر گرفتن محیط‌های دیگر) بنویسید. مثلاً در شکل بالا بدون در نظر گرفتن آب، برای هوا و شیشه داریم:

$$\frac{\text{ضریب شکست شیشه}}{\text{ضریب شکست هوا}} = \frac{\text{سینوس زاویهٔ تابش در هوا}}{\text{سینوس زاویهٔ شکست در شیشه}} \Rightarrow \frac{n_3}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3}$$

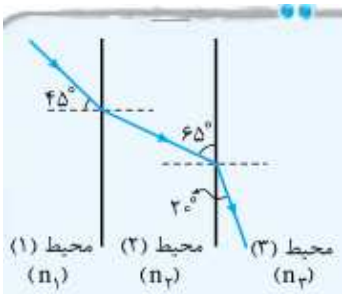
تست در شکل مقابل، پرتوی ورودی با زاویهٔ تابش 37° از محیط (۱) به سطح محیط (۲) تابش شده است. زاویهٔ شکست خروجی (θ_3) چند درجه است؟ $(\sin 37^\circ = 0/6$، سطح‌های جدایی محیط‌ها موازی‌اند.)



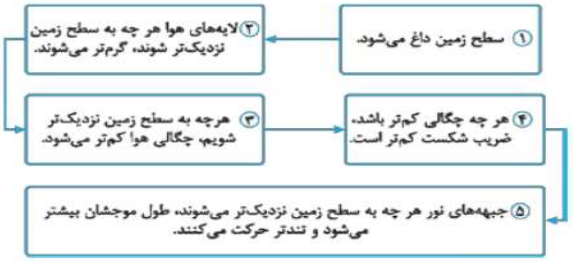
۱) ۵۳ ۲) ۴۵
۳) ۳۰ ۴) ۶۰

در چند محیط متوازی‌السطوح، گاهی زاویه‌ها را می‌دهند و ضریب شکست‌ها یا طول موج‌ها یا تندی نور را مقایسه می‌کنند. در این موارد محیطی که زاویهٔ تابش و شکست کوچک‌تری دارد، ضریب شکستش بزرگ‌تر و تندی نور در آن کم‌تر است. به تست زیر توجه کنید.

تست در شکل مقابل، با توجه به زاویه‌های داده‌شده، کدام گزینه دربارهٔ ضریب شکست محیط‌ها و تندی نور در آن‌ها درست است؟ (سطوح جدایی محیط‌ها موازی‌اند.)



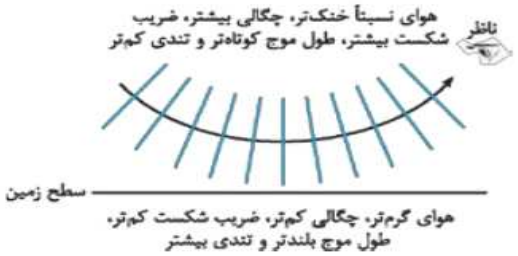
۱) $v_2 > v_3 > v_1, n_2 > n_3 > n_1$
۲) $v_2 > v_1 > v_3, n_2 > n_1 > n_3$
۳) $v_3 > v_2 > v_1, n_1 > n_2 > n_3$
۴) $v_3 > v_1 > v_2, n_2 > n_1 > n_3$



دلیل پدیدهٔ سراب کم‌شدن چگالی هوا در سطح زمین داغ است، چون رقیق‌شدن و کاهش چگالی هوا، ضریب شکست هوا را هم کم می‌کند. در دیاگرام مقابل، زنجیرهٔ اتفاقات برای دیده‌شدن سراب را آورده‌ایم.

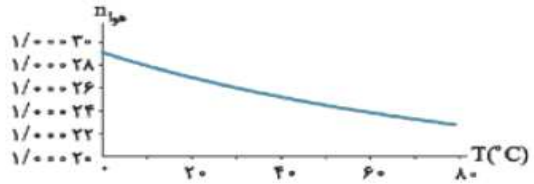
ۀ این اتفاقات را در شکل مقابل می‌بینید.

ه‌های موج با نزدیک‌شدن به سطح زمین، رو به بالا خم می‌شوند و بدین ب ناظر تصویر موجناک آسمان را روی زمین می‌بینند.



نکته

نمودار روبه‌رو تغییرات ضریب شکست هوا را برحسب دما نشان می‌دهد. همین‌طور که ید با افزایش دمای هوا، ضریب شکست اندک‌اندک کاهش می‌یابد.



ت کدام نمودار ضریب شکست شیشه را برحسب طول موج نور فرودی درست نشان می‌دهد؟

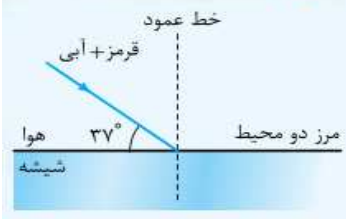
۱)

۲)

۳)

۴)

ت در شکل مقابل، باریکهٔ نوری شامل دو پرتوی قرمز و آبی را از هوا به سطح یک شیشهٔ خاص تابانده‌ایم. ضریب شکست این شیشه برای نورهای قرمز و آبی به ترتیب $n_{\text{قرمز}} = \frac{۴}{۳}$ و $n_{\text{آبی}} = ۱/۶$ باشد، زاویهٔ بین دو ی شکست آبی و قرمز چند درجه است؟ $(\sin ۳۷^\circ = ۰/۶)$



۱) ۷
۲) ۱۵
۳) ۱۸
۴) ۲۳